

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-75364

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月17日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 N 1/407			H 0 4 N 1/40	1 0 1 E
G 0 6 T 5/00			G 0 6 F 15/68	3 1 0 J
5/20				4 0 0 A

審査請求 未請求 請求項の数36 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願平8-182156

(22) 出願日 平成8年(1996) 7月11日

(31) 優先権主張番号 特願平7-252089

(32) 優先日 平7(1995) 9月29日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平8-169062

(32) 優先日 平8(1996) 6月28日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平8-169064

(32) 優先日 平8(1996) 6月28日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 山田 雅彦

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フイルム株式会社内

(72) 発明者 伊藤 渡

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フイルム株式会社内

(74) 代理人 弁理士 柳田 征史 (外1名)

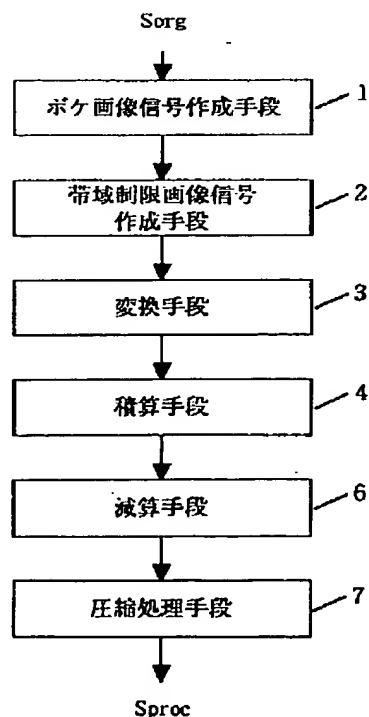
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像のダイナミックレンジ圧縮処理方法および装置

(57) 【要約】

【課題】 画像のダイナミックレンジ圧縮処理方法および装置において、エッジ部近傍にアーチファクトを発生させることなく、良好なダイナミックレンジ圧縮処理を行う。

【解決手段】 ボケ画像信号作成手段1により原画像信号 Sorg に基づいて互いに周波数応答特性が異なるボケ画像信号 Susk ($k=1\sim n$) を作成し、帯域制限画像信号作成手段2により、ボケ画像信号 Susk に基づいて複数の帯域制限画像信号を作成する。変換手段3により、複数の帯域制限画像信号のうち所定の閾値よりも絶対値が大きい帯域制限画像信号の絶対値を小さくし、積算手段4により変換された帯域制限画像信号を積算して積算信号を作成する。そして、減算手段6により原画像信号 Sorg から積算信号を減算して得た差分信号を変換して原画像信号 Sorg と加算し、コントラストが圧縮された処理済画像 Sproc を得る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 原画像を表す原画像信号に、該原画像の低周波成分に関する信号を加算することにより、該原画像のダイナミックレンジを圧縮するダイナミックレンジ圧縮処理方法において、

前記原画像信号に基づいて、互いに周波数応答特性が異なる複数の非鮮鋭マスク画像信号を作成し、

前記原画像信号および前記複数の非鮮鋭マスク画像信号、または前記複数の非鮮鋭マスク画像信号に基づいて、前記原画像信号の複数の周波数帯域ごとの信号を表す複数の帯域制限画像信号を作成し、

該各帯域制限画像信号のうち少なくとも1つの信号について、該帯域制限画像信号の少なくとも一部を小さくするような変換処理を施して複数の変換画像信号を作成し、

該各変換画像信号を積算することにより積算信号を作成し、

該積算信号を前記原画像信号から減ずることにより差分信号を作成し、

該差分信号を変換することにより前記原画像信号に加算する前記低周波成分に関する信号を得ることを特徴とするダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項2】 前記複数の変換画像信号の作成を、前記帯域制限画像信号の絶対値が所定の閾値より大きい帯域制限画像信号については、該帯域制限画像信号の絶対値を小さくするように、該各帯域制限画像信号を変換することにより行うことを特徴とする請求項1記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項3】 前記複数の変換画像信号の作成を、前記各帯域制限画像信号の絶対値が所定の閾値より大きいほど該帯域制限画像信号の絶対値を小さくするとともに、前記各帯域制限画像信号の絶対値が該所定の閾値よりも小さい他の閾値よりも小さいほど該帯域制限画像信号の絶対値を小さくするように、該各帯域制限画像信号を変

$$\begin{aligned} \text{Sproc} &= \text{Sorg} + D (\text{Sorg} - \text{Fdrc} (\text{Sorg}, \text{Sus1}, \text{Sus2}, \dots, \text{SusN})) \\ \text{Fdrc} (\text{Sorg}, \text{Sus1}, \text{Sus2}, \dots, \text{SusN}) &= \{ f_1 (\text{Sorg} - \text{Sus1}) + f_2 (\text{Sus1} - \text{Sus2}) + \dots \\ &\quad + f_k (\text{Sus}_{k-1} - \text{Sus}_k) + \dots + f_N (\text{Sus}_{N-1} - \text{Sus}_N) \} \end{aligned}$$

(但し、Sproc：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg：原画像信号

Susk(k=1～N)：非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=1～N)：前記各帯域制限画像信号を変換する関数

D(Sorg-Fdrc)：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを変換する関数)

※

$$\begin{aligned} \text{Sproc} &= \text{Sorg} + D (\text{Sorg} - \text{Fdrc} (\text{Sorg}, \text{Sus1}, \text{Sus2}, \dots, \text{SusN})) \\ \text{Fdrc} (\text{Sorg}, \text{Sus1}, \text{Sus2}, \dots, \text{SusN}) &= (1/N) \cdot \{ f_1 (\text{Sorg} - \text{Sus1}) + f_2 (\text{Sorg} - \text{Sus2}) \\ &\quad + f_k (\text{Sorg} - \text{Sus}_k) + \dots + f_N (\text{Sorg} - \text{Sus}_N) \} \end{aligned}$$

*換することにより行うことを特徴とする請求項2記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項4】 前記複数の変換画像信号の作成を、前記各帯域制限画像信号の周波数帯域に応じて該各帯域制限画像信号の絶対値の大きさを変化させるように、該各帯域制限画像信号を変換することにより行うことを特徴とする請求項2または3記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項5】 前記複数の変換画像信号の作成を、前記各帯域制限画像信号を、前記周波数帯域ごとに異なる複数の関数に基づいて、該帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる該絶対値以下の値となるように変換することにより行うことを特徴とする請求項1記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項6】 前記変換画像信号の作成に使用される各関数が、前記帯域制限画像信号の絶対値が所定の値より大きい帯域制限画像信号については、該変換画像信号の値がほぼ一定の値となるように該帯域制限画像信号を変換する関数であり、該関数が低周波帯域を処理する関数であるほど、前記所定の値が小さい値であることを特徴とする請求項5記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項7】 前記変換画像信号の作成に使用される各関数が、該関数が低周波帯域を処理する関数であるほど、前記帯域制限画像信号の絶対値が0近傍の所定の範囲内の値である帯域制限画像信号を変換した際に得られる該変換画像信号の絶対値が小さい値であることを特徴とする請求項5または6項記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項8】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

※にしたがって行うことを特徴とする請求項1から7のいずれか1項記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項9】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

3

(但し、Sproc：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg：原画像信号

Susk(k=1~N)：非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=1~N)：前記各帯域制限画像信号を変換する関数

D(Sorg-Fdrc)：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを変換する関数))

$$\begin{aligned} Sproc &= Sorg + D(Sorg - Fdrc(Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ Fdrc(Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= \{f_2(Sus1 - Sus2) + f_3(Sus2 - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k(Susk-1 - Susk) + \dots + f_N(SusN-1 - SusN)\} \end{aligned}$$

(但し、Sproc：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg：原画像信号

Susk(k=1~N)：非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=2~N)：前記各帯域制限画像信号を変換する関数

D(Sorg-Fdrc)：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを※

$$\begin{aligned} Sproc &= Sorg + D(Sorg - Fdrc(Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ Fdrc(Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= (1/N) \cdot \{f_2(Sus1 - Sus2) + f_3(Sus1 - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k(Sus1 - Susk) + \dots + f_N(Sus1 - SusN)\} \end{aligned}$$

(但し、Sproc：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg：原画像信号

Susk(k=1~N)：非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=2~N)：前記各帯域制限画像信号を変換する関数

D(Sorg-Fdrc)：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを

にしたがって行うことを特徴とする請求項1から4のいずれか1項記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項12】 前記各変換画像信号の作成を、前記帯域制限画像信号を、該帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる該絶対値以下の値となるように変換することにより抑制画像信号を作成し、

前記原画像信号および前記複数の非鮮鋭マスク画像信号★

$$\begin{aligned} Sproc &= Sorg + D(Sorg - Fdrc(Sorg, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ Fdrc(Sorg, Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= \{f_1(Sorg - Sus1) \cdot g(Sus1 - Sus2) \\ &\quad + f_2(Sus1 - Sus2) \cdot g(Sus2 - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k(Susk-1 - Susk) \cdot g(Susk - Susk+1) + \dots \\ &\quad + f_N(SusN-1 - SusN) \cdot g(SusN - SusN+1)\} \end{aligned}$$

(但し、Sproc：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg：原画像信号

Susk(k=1~N+1)：非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=1~N)：前記各帯域制限画像信号を変換して前記抑制信号を作成するための関数

☆50

4

★にしたがって行うことを特徴とする請求項1から7のいずれか1項記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項10】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

※変換する関数)

にしたがって行うことを特徴とする請求項1から4のいずれか1項記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項11】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

★に基づいて、前記抑制画像信号の作成に使用された帯域制限画像信号よりも低い周波数帯域の信号を含む補助画像信号を作成し、

該補助画像信号を、該補助画像信号の絶対値が小さいほど1に近く、大きいほど0に近い値となるように変換することにより前記抑制画像信号にそれぞれ対応する倍率信号を作成し、

前記抑制画像信号に、該抑制画像信号に対応する前記倍率信号を乗ずることにより行うことを特徴とする請求項1記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項13】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

☆g：前記各補助画像信号を変換して前記倍率信号を作成するための関数

D(Sorg-Fdrc)：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを変換する関数))

にしたがって行うことを特徴とする請求項1または12

5

記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項14】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号*

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= \{ f_1(S_{org} - Sus1) \cdot g(S_{org} - Sus2) \\ &\quad + f_2(Sus1 - Sus2) \cdot g(S_{org} - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k(Sus_{k-1} - Sus_k) \cdot g(S_{org} - Sus_{k+1}) + \dots \\ &\quad + f_N(Sus_{N-1} - Sus_N) \cdot g(S_{org} - Sus_{N+1}) \} \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} ：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} ：原画像信号

$Sus_k(k=1 \sim N+1)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=1 \sim N)$ ：前記各帯域制限画像信号を変換して前記抑制信号を作成するための関数

g ：前記各補助画像信号を変換して前記倍率信号を作成するための関数

$D(S_{org} - F_{drc})$ ：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数)

にしたがって行うことを特徴とする請求項1または12記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項15】 前記各変換画像信号の作成を、変換される帯域制限画像信号である被変換帯域制限画像信号よりも低い周波数帯域の帯域制限画像信号である低周波側※

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= [f_1 \{ (S_{org} - Sus1) + g(Sus1 - Sus2) \} \\ &\quad + f_2 \{ (Sus1 - Sus2) + g(Sus2 - Sus3) \} + \dots \\ &\quad + f_k \{ (Sus_{k-1} - Sus_k) + g(Sus_k - Sus_{k+1}) \} + \dots \\ &\quad + f_N \{ (Sus_{N-1} - Sus_N) + g(Sus_N - Sus_{N+1}) \}] \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} ：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} ：原画像信号

$Sus_k(k=1 \sim N+1)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=1 \sim N)$ ：前記各複合帯域制限画像信号を変換するための関数

g ：前記各帯域制限画像信号を変換して前記補助画像信号を作成するための関数

$D(S_{org} - F_{drc})$ ：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数)

にしたがって行うことを特徴とする請求項1または15記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項17】 前記複数の変換画像信号の作成を、前記原画像を撮影した際の撮影部位に応じて、前記各帯域制限画像信号を変換することにより行うことを特徴とする請求項1から16のいずれか1項記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項18】 前記原画像が断層撮影により得られた★50

6

*の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

10※帯域制限画像信号を、原点をとおり該原点における傾きがほぼ0で、処理される値が大きくなるにつれて該傾きが漸増する非線形関数に基づいて変換することにより前記被変換帯域制限画像信号の補助画像信号を作成し、該補助画像信号を前記被変換帯域制限画像信号に加算することにより複合帯域制限画像信号を作成し、該複合帯域制限画像信号を、該複合帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる該絶対値以下の値となるように変換することにより行うことを特徴とする請求項1記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

20 【請求項16】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

★流れ像を含むものであり、前記複数の非鮮鋭マスク画像信号の作成を、前記原画像信号に対して該流れ像の方向に沿う1次元非鮮鋭マスクによりマスク処理を施すことにより行うことを特徴とする請求項1から17記載のダイナミックレンジ圧縮処理方法。

【請求項19】 原画像を表す原画像信号に、該原画像の低周波成分に関する信号を加算することにより、該原画像のダイナミックレンジを圧縮するダイナミックレンジ圧縮処理装置において、前記原画像信号に基づいて、互いに周波数応答特性が異なる複数の非鮮鋭マスク画像信号を作成する非鮮鋭マスク画像信号作成手段と、前記原画像信号および前記複数の非鮮鋭マスク画像信号、または前記複数の非鮮鋭マスク画像信号に基づいて、前記原画像信号の複数の周波数帯域ごとの信号を表す複数の帯域制限画像信号を作成する帯域制限画像信号作成手段と、該各帯域制限画像信号のうち少なくとも1つの信号について、該帯域制限画像信号の少なくとも一部を小さくす

るような変換処理を施して複数の変換画像信号を作成する変換手段と、
該各変換画像信号を積算することにより積算信号を作成する積算手段と、
該積算信号を前記原画像信号から減算して差分信号を作成する減算手段と、
該差分信号を変換することにより前記原画像信号に加算する前記低周波成分に関する信号を得る圧縮処理手段を有することを特徴とするダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項20】 前記変換手段が、前記複数の変換画像信号を、前記帯域制限画像信号の絶対値が所定の閾値より大きい帯域制限画像信号については、該帯域制限画像信号の絶対値を小さくするように、該各帯域制限画像信号を変換することにより作成する手段であることを特徴とする請求項19記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項21】 前記変換手段が、前記複数の変換画像信号を、前記各帯域制限画像信号の絶対値が所定の閾値より大きいほど該帯域制限画像信号の絶対値を小さくするとともに、前記各帯域制限画像信号の絶対値が該所定の閾値よりも小さい他の閾値よりも小さいほど該帯域制限画像信号の絶対値を小さくするように、該各帯域制限画像信号を変換することにより作成する手段であることを特徴とする請求項20記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項22】 前記変換手段が、前記複数の変換画像信号を、前記各帯域制限画像信号の周波数帯域に応じて該各帯域制限画像信号の絶対値の大きさを変化させるように、該各帯域制限画像信号を変換することにより作成*

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D (S_{org} - F_{drc} (S_{org}, S_{us1}, S_{us2}, \dots, S_{usN})) \\ F_{drc} (S_{org}, S_{us1}, S_{us2}, \dots, S_{usN}) \\ &= \{ f_1 (S_{org} - S_{us1}) + f_2 (S_{us1} - S_{us2}) + \dots \\ &\quad + f_k (S_{usk-1} - S_{usk}) + \dots + f_N (S_{usN-1} - S_{usN}) \} \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} ：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} ：原画像信号

$S_{usk} (k=1 \sim N)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

$f_k (k=1 \sim N)$ ：前記各帯域制限画像信号を変換する関数

$D (S_{org} - F_{drc})$ ：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数 (D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数))

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D (S_{org} - F_{drc} (S_{org}, S_{us1}, S_{us2}, \dots, S_{usN})) \\ F_{drc} (S_{org}, S_{us1}, S_{us2}, \dots, S_{usN}) \\ &= (1/N) \cdot \{ f_1 (S_{org} - S_{us1}) + f_2 (S_{org} - S_{us2}) \\ &\quad + f_k (S_{org} - S_{usk}) + \dots + f_N (S_{org} - S_{usN}) \} \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} ：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} ：原画像信号

$S_{usk} (k=1 \sim N)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

*する手段であることを特徴とする請求項20または21記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項23】 前記変換手段が、前記複数の変換画像信号を、前記各帯域制限画像信号を、前記周波数帯域ごとに異なる複数の関数に基づいて、該帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる該絶対値以下の値となるように変換することにより作成する手段であることを特徴とする請求項19記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

10 【請求項24】 前記変換画像信号の作成に使用される各関数が、前記帯域制限画像信号の絶対値が所定の値より大きい帯域制限画像信号については、該変換画像信号の値がほぼ一定の値となるように該帯域制限画像信号を変換する関数であり、該関数が低周波帯域を処理する関数であるほど、前記所定の値が小さい値であることを特徴とする請求項23記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

20 【請求項25】 前記変換画像信号の作成に使用される各関数が、該関数が低周波帯域を処理する関数であるほど、前記帯域制限画像信号の絶対値が0近傍の所定の範囲内の値である帯域制限画像信号を変換した際に得られる該変換画像信号の絶対値が小さい値であることを特徴とする請求項23または24項記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項26】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

※にしたがって行うことを特徴とする請求項19から25のいずれか1項記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項27】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

★ $f_k (k=1 \sim N)$ ：前記各帯域制限画像信号を変換する関数
 $D (S_{org} - F_{drc})$ ：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数 (D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数))

にしたがって行うことを特徴とする請求項19から25のいずれか1項記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項28】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変*

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc}(Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= \{f_2(Sus1 - Sus2) + f_3(Sus2 - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k(Susk-1 - Susk) + \dots + f_N(SusN-1 - SusN)\} \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} ：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} ：原画像信号

$Susk(k=1 \sim N)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=2 \sim N)$ ：前記各帯域制限画像信号を変換する関数
 $D(S_{org} - F_{drc})$ ：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数)

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc}(Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= (1/N) \cdot \{f_2(Sus1 - Sus2) + f_3(Sus1 - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k(Sus1 - Susk) + \dots + f_N(Sus1 - SusN)\} \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} ：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} ：原画像信号

$Susk(k=1 \sim N)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=2 \sim N)$ ：前記各帯域制限画像信号を変換する関数
 $D(S_{org} - F_{drc})$ ：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数)

にしたがって行うことを特徴とする請求項19から22のいずれか1項記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項30】 前記変換手段が、前記帯域制限画像信号を、該帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる該絶対値以下の値となるように変換することにより抑制画像信号を作成する抑制画像信号作成手段と、

前記原画像信号および前記複数の非鮮鋭マスク画像信号★

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= \{f_1(S_{org} - Sus1) \cdot g(Sus1 - Sus2) \\ &\quad + f_2(Sus1 - Sus2) \cdot g(Sus2 - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k(Susk-1 - Susk) \cdot g(Susk - Susk+1) + \dots \\ &\quad + f_N(SusN-1 - SusN) \cdot g(SusN - SusN+1)\} \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} ：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} ：原画像信号

$Susk(k=1 \sim N+1)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=1 \sim N)$ ：前記各帯域制限画像信号を変換して前記抑制信号を作成するための関数

g ：前記各補助画像信号を変換して前記倍率信号を作成するための関数

* 換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

※にしたがって行うことを特徴とする請求項19から22のいずれか1項記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項29】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

★に基づいて、前記抑制画像信号の作成に使用された帯域制限画像信号よりも低い周波数帯域の信号を含む補助画像信号を作成する補助画像信号作成手段と、該補助画像信号を、該補助画像信号の絶対値が小さいほど1に近く、大きいほど0に近い値となるように変換することにより前記抑制画像信号にそれぞれ対応する倍率信号を作成する倍率信号作成手段と、前記抑制画像信号に、該抑制画像信号に対応する前記倍率信号を乗ずる乗算手段とからなることを特徴とする請求項19記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項31】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

☆ $D(S_{org} - F_{drc})$ ：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数)

にしたがって行うことを特徴とする請求項19または30記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項32】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該

1 1

1 2

低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、* *下記の式

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= \{ f_1(S_{org} - Sus1) \cdot g(S_{org} - Sus2) \\ &\quad + f_2(Sus1 - Sus2) \cdot g(S_{org} - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k(Susk-1 - Susk) \cdot g(S_{org} - Susk+1) + \dots \\ &\quad + f_N(SusN-1 - SusN) \cdot g(S_{org} - SusN+1) \} \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} : ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} : 原画像信号

$Susk(k=1 \sim N+1)$: 非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=1 \sim N)$: 前記各帯域制限画像信号を変換して前記抑制信号を作成するための関数

g : 前記各補助画像信号を変換して前記倍率信号を作成するための関数

$D(S_{org} - F_{drc})$: 低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数)

にしたがって行うことを特徴とする請求項19または30記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項33】 前記変換手段が、変換される帯域制限画像信号である被変換帯域制限画像信号よりも低い周波数帯域の帯域制限画像信号である低周波側帯域制限画像信号を、原点をとおり該原点における傾きがほぼ0で、※

※処理される値が大きくなるにつれて該傾きが漸増する非線形関数に基づいて変換することにより前記被変換帯域

10 制限画像信号の補助画像信号を作成する補助画像信号作成手段と、

該補助画像信号を前記被変換帯域制限画像信号に加算することにより複合帯域制限画像信号を作成する複合帯域制限画像信号作成手段と、

該複合帯域制限画像信号を、該複合帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる該絶対値以下の値となるように変換することにより前記変換画像信号を作成する変換画像信号作成手段とからなることを特徴とする請求項19記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

20 【請求項34】 前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= [f_1 \{ (S_{org} - Sus1) + g(Sus1 - Sus2) \} \\ &\quad + f_2 \{ (Sus1 - Sus2) + g(Sus2 - Sus3) \} + \dots \\ &\quad + f_k \{ (Susk-1 - Susk) + g(Susk - Susk+1) \} + \dots \\ &\quad + f_N \{ (SusN-1 - SusN) + g(SusN - SusN+1) \}] \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} : ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} : 原画像信号

$Susk(k=1 \sim N+1)$: 非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=1 \sim N)$: 前記各複合帯域制限画像信号を変換するための関数

g : 前記各帯域制限画像信号を変換して前記補助画像信号を作成するための関数

$D(S_{org} - F_{drc})$: 低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数)

にしたがって行うことを特徴とする請求項19または33記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項35】 前記変換手段が、前記複数の変換画像信号を、前記原画像を撮影した際の撮影部位に応じて、前記各帯域制限画像信号を変換することにより作成する手段であることを特徴とする請求項19から34のいずれか1項記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【請求項36】 前記原画像が断層撮影により得られた流れ像を含むものであり、前記非鮮鋭マスク画像信号作★50

★成手段が、前記複数の非鮮鋭マスク画像信号を、前記原画像信号に対して該流れ像の方向に沿う1次元非鮮鋭マスクによりマスク処理を施すことにより作成する手段であることを特徴とする請求項19から35記載のダイナミックレンジ圧縮処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は原画像を表す原画像信号を処理して原画像よりもダイナミックレンジの狭い画像を担持する処理済画像信号を求める画像のダイナミックレンジ圧縮処理方法および装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 画像を表す画像信号を得、この画像信号に適切な画像処理を施した後、画像を再生表示することが種々の分野で行われている。非鮮鋭マスク(以下ボケマスクという)を用いた画像処理は、このような画像処理の1つであり、例えば本出願人が特開昭55-163472号公報、特開昭55-87953号公報等により提案している周波数強調処理などに適用されている。

13

【0003】このような画像処理では、非鮮鋭マスク画像信号（以下ボケ画像信号という）は、原画像信号に基づく所定の演算によって作成される。原画像信号Sorgに基づいてボケ画像信号Susを作成する方法としては、例えばその原画像を構成する画素の1画素おきに、各画素の周囲のM×Nの範囲内の原画像信号Sorgについて、

$$Sus = \Sigma Sorg / (M \times N) \quad \dots (1)$$

なる演算を行うといった方法が用いられている。

【0004】本出願人は、このボケ画像信号を用いて、原画像の最高濃度と最低濃度との差すなわちダイナミックレンジを狭めるように高濃度域もしくは低濃度域あるいは画像全体のコントラストを下げる画像のダイナミックレンジ圧縮処理方法を提案している（例えば特開平3-222577号）。この方法は、原画像に基づいてボケ画像信号Susを求め、このボケ画像信号Susの値が増大するにつれて単調減少する関数をf(Sus)としたとき、下記の式(2)

$$Sproc = Sorg + f(Sus) \quad \dots (2)$$

にしたがって原画像よりもダイナミックレンジの狭い画像を担持する処理済画像信号Sprocを求めるものである。この方法によれば、低濃度領域のみならず高濃度領域のダイナミックレンジをも良好に圧縮でき、また関数f(Sus)の微係数を連続させることにより、偽輪郭が生じる問題もなくなり、濃度域を圧縮することにより画像内の適正観察領域を広げるとともに、各領域内の微細構造の観察適正をも確保することができる。

【0005】また、いわゆる断層撮影法（たとえば、特開昭58-67245号公報参照）により得られた放射線画像（断層撮影画像）中の観察の対象となる中央領域において、撮影対象とされた断層面以外に存在する放射線透過量の大きく変化した部分の像が記録シートの移動方向に沿って生ずる障害陰影（以下これを流れ像と称する）を除去するための画像処理方法も行われている（たとえば特開平3-276265号等）。この方法は、断層撮影により得られた放射線画像の画像信号のうち、流れ像に対応する低空間周波数成分を除去することにより、流れ像が除去された画像を生成するようにしたものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記ボケ画像信号を用いたダイナミックレンジ圧縮処理方法では、画像の濃度が急激に変化しているエッジ部の近傍においてボケ画像信号を作成する場合、図35に示すようにM×Nのマスク内にエッジ部が含まれてしまうため、そのボケ画像信号がエッジ部の濃度に影響されてしまい、このボケ画像信号により処理が行われた画像に、オーバーシュート、アンダーシュートあるいは偽輪郭などのアーチファクトが発生し、これにより画質が低下してしまうという問題がある。

【0007】本発明は上記事情に鑑み、エッジ部近傍に

14

アーチファクトを発生させることなくダイナミックレンジ圧縮処理を行うことができるダイナミックレンジ圧縮処理方法および装置を提供することを目的とするものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の画像のダイナミックレンジ圧縮処理方法および装置は、原画像を表す原画像信号に、該原画像の低周波成分に関する信号を加算することにより、該原画像のダイナミックレンジを圧縮するダイナミックレンジ圧縮処理方法において、前記原画像信号に基づいて、互いに周波数応答特性が異なる複数の非鮮鋭マスク画像信号を作成し、前記原画像信号および前記複数の非鮮鋭マスク画像信号、または前記複数の非鮮鋭マスク画像信号に基づいて、前記原画像信号の複数の周波数帯域ごとの信号を表す複数の帯域制限画像信号を作成し、該各帯域制限画像信号のうち少なくとも1つの信号について、該帯域制限画像信号の少なくとも一部を小さくするような変換処理を施して複数の変換画像信号を作成し、該各変換画像信号を積算することにより積算信号を作成し、該積算信号を前記原画像信号から減ずることにより差分信号を作成し、該差分信号を変換することにより前記原画像信号に加算する前記低周波成分に関する信号を得ることを特徴とするものである。

【0009】前記複数の変換画像信号の作成は、前記帯域制限画像信号の絶対値が所定の閾値より大きい帯域制限画像信号については、該帯域制限画像信号の絶対値を小さくするように、該各帯域制限画像信号を変換することが望ましい。この際、前記各帯域制限画像信号の絶対値が所定の閾値より大きいほど該帯域制限画像信号の絶対値を小さくするとともに、前記各帯域制限画像信号の絶対値が該所定の閾値よりも小さい他の閾値よりも小さいほど該帯域制限画像信号の絶対値を小さくするように、該各帯域制限画像信号を変換することにより行ってもよい。また、前記各帯域制限画像信号の周波数帯域に応じて該各帯域制限画像信号の絶対値の大きさを変化させるように、該各帯域制限画像信号を変換することにより行ってもよい。

【0010】また、前記複数の変換画像信号の作成は、前記各帯域制限画像信号を、前記周波数帯域ごとに異なる複数の関数に基づいて、該帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる該絶対値以下の値となるように変換することにより行ってもよい。この際、前記変換画像信号の作成に使用される各関数は、前記帯域制限画像信号の絶対値が所定の値より大きい帯域制限画像信号については、該変換画像信号の値がほぼ一定の値となるように該帯域制限画像信号を変換する関数であり、該関数が低周波帯域を処理する関数であるほど、前記所定の値が小さい値であることが望ましい。さらに、前記変換画像信号の作成に使用される各関数は、該関数が低周波帯域を処理する関数であるほど、前記帯域制限画像信号の絶対値

15

が0近傍の所定の範囲内の値である帯域制限画像信号を変換した際に得られる該変換画像信号の絶対値が小さい値であることが望ましい。

【0011】なお、前記帯域制限画像信号の作成、前記*

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D (S_{org} - F_{drc} (S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc} (S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN) \\ &= \{ f_1 (S_{org} - Sus1) + f_2 (Sus1 - Sus2) + \dots \\ &\quad + f_k (Sus_{k-1} - Sus_k) + \dots + f_N (Sus_{N-1} - Sus_N) \} \end{aligned}$$

(但し、Sproc: ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg: 原画像信号

Susk(k=1~N): 非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=1~N): 前記各帯域制限画像信号を変換する関数

D(Sorg-Fdrc): 低周波成分信号に基づいて定めら※

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D (S_{org} - F_{drc} (S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc} (S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN) \\ &= (1/N) \cdot \{ f_1 (S_{org} - Sus1) + f_2 (S_{org} - Sus2) \\ &\quad + f_k (S_{org} - Sus_k) + \dots + f_N (S_{org} - Sus_N) \} \end{aligned}$$

(但し、Sproc: ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg: 原画像信号

Susk(k=1~N): 非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=1~N): 前記各帯域制限画像信号を変換する関数

D(Sorg-Fdrc): 低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを変換する関数)

にしたがって行ってもよい。

★

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D (S_{org} - F_{drc} (Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc} (Sus1, Sus2, \dots, SusN) \\ &= \{ f_2 (Sus1 - Sus2) + f_3 (Sus2 - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k (Sus_{k-1} - Sus_k) + \dots + f_N (Sus_{N-1} - Sus_N) \} \end{aligned}$$

(但し、Sproc: ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg: 原画像信号

Susk(k=1~N): 非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=2~N): 前記各帯域制限画像信号を変換する関数

D(Sorg-Fdrc): 低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを変換する関数)

☆

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D (S_{org} - F_{drc} (Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc} (Sus1, Sus2, \dots, SusN) \\ &= (1/N) \cdot \{ f_2 (Sus1 - Sus2) + f_3 (Sus1 - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k (Sus1 - Sus_k) + \dots + f_N (Sus1 - Sus_N) \} \end{aligned}$$

(但し、Sproc: ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg: 原画像信号

Susk(k=1~N): 非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=2~N): 前記各帯域制限画像信号を変換する関数

D(Sorg-Fdrc): 低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを◆50

16

*変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算は、具体的には、下記の式

10 ダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを変換する関数)にしたがって行うことが望ましい。

【0012】あるいは、下記の式

★【0013】また、前記複数の変換画像信号を、前記帯域制限画像信号の絶対値が所定の閾値より大きい帯域制限画像信号について、該帯域制限画像信号の絶対値を小さくするように、該各帯域制限画像信号を変換することにより作成する場合には、前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

☆にしたがって行ってもよい。

【0014】あるいは、同様に、前記複数の変換画像信号を、前記帯域制限画像信号の絶対値が所定の閾値より大きい帯域制限画像信号について、該帯域制限画像信号の絶対値を小さくするように、該各帯域制限画像信号を変換することにより作成する場合には、上記処理を下記の式

◆変換する関数)

にしたがって行ってもよい。

【0015】さらに、前記各変換画像信号の作成は、前記帯域制限画像信号を、該帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる該絶対値以下の値となるように変換することにより抑制画像信号を作成し、前記原画像信号および前記複数の非鮮鋭マスク画像信号に基づいて、前記抑

17

制画像信号の作成に使用された帯域制限画像信号よりも低い周波数帯域の信号を含む補助画像信号を作成し、該補助画像信号を、該補助画像信号の絶対値が小さいほど1に近く、大きいほど0に近い値となるように変換することにより前記抑制画像信号にそれぞれ対応する倍率信号を作成し、前記抑制画像信号に、該抑制画像信号に対*

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= \{ f_1(S_{org} - Sus1) \cdot g(Sus1 - Sus2) \\ &\quad + f_2(Sus1 - Sus2) \cdot g(Sus2 - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k(Susk-1 - Susk) \cdot g(Susk - Susk+1) + \dots \\ &\quad + f_N(SusN-1 - SusN) \cdot g(SusN - SusN+1) \} \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} ：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} ：原画像信号

$Susk(k=1 \sim N+1)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=1 \sim N)$ ：前記各帯域制限画像信号を変換して前記抑制信号を作成するための関数

g ：前記各補助画像信号を変換して前記倍率信号を作成*

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= \{ f_1(S_{org} - Sus1) \cdot g(S_{org} - Sus2) \\ &\quad + f_2(Sus1 - Sus2) \cdot g(S_{org} - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k(Susk-1 - Susk) \cdot g(S_{org} - Susk+1) + \dots \\ &\quad + f_N(SusN-1 - SusN) \cdot g(S_{org} - SusN+1) \} \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} ：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} ：原画像信号

$Susk(k=1 \sim N+1)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=1 \sim N)$ ：前記各帯域制限画像信号を変換して前記抑制信号を作成するための関数

g ：前記各補助画像信号を変換して前記倍率信号を作成するための関数

$D(S_{org} - F_{drc})$ ：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数)

にしたがって行ってもよい。

【0018】また、前記各変換画像信号の作成は、変換される帯域制限画像信号である被変換帯域制限画像信号よりも低い周波数帯域の帯域制限画像信号である低周波★40

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ F_{drc}(S_{org}, Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= [f_1 \{ (S_{org} - Sus1) + g(Sus1 - Sus2) \} \\ &\quad + f_2 \{ (Sus1 - Sus2) + g(Sus2 - Sus3) \} + \dots \\ &\quad + f_k \{ (Susk-1 - Susk) + g(Susk - Susk+1) \} + \dots \\ &\quad + f_N \{ (SusN-1 - SusN) + g(SusN - SusN+1) \}] \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} ：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} ：原画像信号

$Susk(k=1 \sim N+1)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

18

* 応する前記倍率信号を乗ずることにより行ってもよい。

【0016】これは、具体的には、前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

※するための関数

$D(S_{org} - F_{drc})$ ：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数)

にしたがって行うことが望ましい。

【0017】あるいは、下記の式

★側帯域制限画像信号を、原点をとおり該原点における傾きがほぼ0で、処理される値が大きくなるにつれて該傾きが漸増する非線形関数に基づいて変換することにより前記被変換帯域制限画像信号の補助画像信号を作成し、該補助画像信号を前記被変換帯域制限画像信号に加算することにより複合帯域制限画像信号を作成し、該複合帯域制限画像信号を、該複合帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる該絶対値以下の値となるように変換することにより行ってもよい。

【0019】これは、具体的には、前記帯域制限画像信号の作成、前記変換画像信号の作成、前記積算信号の作成、前記差分信号の作成、前記低周波成分に関する信号の作成、および該低周波成分に関する信号の前記原画像信号への加算を、下記の式

☆ $f_k(k=1 \sim N)$ ：前記各複合帯域制限画像信号を変換するための関数

g ：前記各帯域制限画像信号を変換して前記補助画像信号を作成するための関数

☆50

D (Sorg-Fdrc) : 低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数 (DはSorg-Fdrcを変換する関数)

にしたがって行うことが望ましい。

【0020】また、上記変換画像信号の作成は、全て、前記原画像を撮影した際の撮影部位に応じて、前記各帯域制限画像信号を変換することにより行うことが望ましい。

【0021】さらに、前記原画像が断層撮影により得られた流れ像を含むものである場合には、前記複数の非鮮鋭マスク画像信号の作成を、前記原画像信号に対して該流れ像の方向に沿う1次元非鮮鋭マスクによりマスク処理を施すことにより行うことが望ましい。

【0022】

【発明の効果】本発明による画像のダイナミックレンジ圧縮方法および装置は、互いに周波数応答特性が異なる複数の非鮮鋭マスク画像信号を作成し、この非鮮鋭マスク画像信号から原画像信号の複数の周波数帯域ごとの信号を表す複数の帯域制限画像信号を作成する。この各帯域制限画像信号は、複数の非鮮鋭マスク画像信号の周波数特性に応じて、原画像をこの周波数特性に対応した周波数帯域の信号として表すものとなる。ここで、この帯域制限画像信号は、原画像の濃度変化が比較的小さいいわゆる平坦部においては、各周波数帯域において絶対値は小さくなるものである。これに対して、濃度が急激に変化するエッジ部近傍においては、帯域制限画像信号が比較的低周波数帯域である場合、すなわち非鮮鋭マスク画像信号を得る際の非鮮鋭マスクのサイズが比較的大きい場合は、そのエッジ部近傍の画素については、非鮮鋭マスクにエッジ部が含まれてしまうため、帯域制限画像信号がエッジ部の影響を受けて絶対値が比較的大きなものとなる。このように、本来エッジ部でない部分がエッジ部の濃度値の影響を受けることにより、ダイナミックレンジ圧縮処理を行うことにより得られた画像のエッジ部にはオーバーシュート、アンダーシュートなどのアーチファクトが発生してしまう。

【0023】本発明はこの点に鑑みてなされたものであり、帯域制限画像信号のうち少なくとも1つの信号について、その帯域制限画像信号の少なくとも一部を小さくするような変換処理を施し、この変換された各帯域制限画像信号の絶対値を積算し、これを原画像信号から減算することにより、原画像信号に加算するための低周波成分に関する信号を得るようにしたものである。このため、比較的大きい帯域制限画像信号は、原画像信号に加算するための低周波成分に関する信号に対する影響力が小さくなり実質的な非鮮鋭マスクのサイズを小さくしたものと同等の信号となる。そしてこれにより、濃度が急激に変化するエッジ部近傍においても、アーチファクトの原因となる信号は影響力が弱められるため、ダイナミックレンジ圧縮処理を施すことにより得られる

画像をアーチファクトのない良好なものとすることができ。

【0024】この際、帯域制限画像信号の変換方法として、帯域制限画像信号の絶対値が所定の閾値よりも大きい場合に、この絶対値が小さくなるように帯域制限画像信号を変換することにより、特に大きな信号の影響力を弱めることができる。あるいは帯域制限画像信号の絶対値が所定の閾値よりも小さい他の閾値よりも小さいほどこの帯域制限画像信号の絶対値を小さくするように補正する方法を用いれば、画像中においてノイズと見なせるような信号値の絶対値の小さい成分のレスポンスを小さくすることができ、これにより得られる画像のノイズを低減することができる。また、帯域制限画像信号の周波数帯域に応じて帯域制限画像信号の絶対値を変化させるように変換することにより、周波数帯域に応じたダイナミックレンジ圧縮処理を行うことも可能となる。

【0025】また、閾値よりも大きいかわりに、周波数帯域に応じて異なる非線形関数によって変換処理を施せば、より適切な処理を施すことが可能となり、これにより、画像処理により生成される処理済画像信号の全体の周波数特性を自在にコントロールすることもできる。これは、上記アーチファクトのみならず、周波数帯域の境界に発生する階段状のアーチファクトをも抑制するという効果を有する。

【0026】あるいは、変換する帯域制限画像信号よりも低い周波数帯域の画像信号を用いて、2種類の信号を加算あるいは乗算するなどして変換画像信号を作成することにより、上記階段状のアーチファクトをさらに抑制し、より滑らかな画像信号を作成して良好な処理済画像を得ることができる。さらに、原画像を得た際の撮影部位に応じてこのような変換を行うことにより、各撮影部位に適した処理済画像を得ることができる。

【0027】また、上述したように断層撮影を行うことにより得られる流れ像を除去するために、非鮮鋭マスク処理を行う方法が提案されているが (特開平3-276265号)、この場合においても、急激に濃度が変化するエッジ部の近傍においてアーチファクトが発生するという問題がある。この場合、流れ像を除去するためには非鮮鋭マスクを1次元として非鮮鋭マスク画像信号を得て非鮮鋭マスク処理を行うものであるが、この非鮮鋭マスク画像信号を得る際に、互いに周波数応答特性が異なる複数の非鮮鋭マスク画像信号を得、これに基づいて上述したような帯域制限画像信号を得、この帯域制限画像信号の絶対値が比較的大きい場合は、その絶対値が小さくなるように変換してその後の処理を行うことにより、流れ像を除去するとともにアーチファクトのない良好な画像を得ることができる。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。図1は本発明によるダイナ

2.1

ミックレンジ圧縮処理装置の概念を表す図である。図1に示すように本発明によるダイナミックレンジ圧縮処理装置は、入力された原画像信号 Sorg に基づいて互いに周波数応答特性が異なる多重解像度のボケ画像信号 Sus_k (k=1~n) を作成するボケ画像信号作成手段1

と、ボケ画像信号作成手段1において作成されたボケ画像信号 Sus_k に基づいて複数の帯域制限画像信号を作成する帯域制限画像信号作成手段2と、帯域制限画像信号作成手段2において作成された複数の帯域制限画像信号のうち少なくとも1つの信号について、該帯域制限画像信号の少なくとも一部を小さくするような変換処理を施す変換手段3と、変換された帯域制限画像信号を積算して積算信号を作成する積算手段4と、この積算信号を原画像信号 Sorg から減算して差分信号を作成する減算手段6と、この作成された差分信号を変換して原画像信号 Sorg に加算して、原画像のダイナミックレンジが圧縮された処理済画像信号 Sproc を得る圧縮処理手段7とからなる。

【0029】はじめに、ボケ画像信号作成手段1において行われる処理について説明する。図2はボケ画像信号作成手段1の処理を示すブロック図である。図2に示すように原画像を表すデジタルの原画像信号 Sorg がフィルタリング処理手段10においてローパスフィルタによりフィルタリングされる。このローパスフィルタとしては、例えば図3に示すような5×1のグリッド状の1次元ガウス分布に略対応したフィルタFを用いることができる。このフィルタFは下記の式(3)

【0030】

【数1】

$$f(t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad \dots (3)$$

【0031】において、 $\sigma=1$ としたものである。ここで、フィルタFとしてガウス信号を用いるのは、ガウス信号は周波数空間および実空間の双方において、局在性がよいためである。

【0032】そして、このフィルタFにより原画像の画素のx方向およびy方向に対してフィルタリング処理を施すことにより、原画像信号 Sorg 全体に対してフィルタリング処理が施される。

【0033】フィルタリング処理手段10においては、このようなフィルタFにより以下のようにしてフィルタリング処理が施される。図4はフィルタリング処理の詳細を表す図である。図4に示すように、原画像信号 Sorg に対し、図3に示すフィルタFにより1画素おきにフィルタリング処理が施される。そしてこのフィルタリング処理により、フィルタリング処理画像信号 B₁ が得られる。このフィルタリング処理画像信号 B₁ は、原画像に対するサイズが1/4 (x方向、y方向にそれぞれ1/2) となっている。次いで、再度フィルタFによりフィ

2.2

ルタリング処理画像信号 B₁ に対して1画素おきにフィルタリング処理が施される。そしてこのようなフィルタFによるフィルタリング処理が繰り返されることにより、n個のフィルタリング処理画像信号 B_k (k=1~n) が得られる。このフィルタリング処理画像信号 B_k は、原画像に対してサイズが1/2^kとなっている。この際、フィルタリング処理画像信号 B_k の周波数特性は図5に示されるようなものとなる。図5に示されるようにフィルタリング処理画像信号 B_k のレスポンスはkが大きいほど高周波成分が除去されたものとなっている(但し、図5においてはk=1~3としている)。

【0034】なお、上記実施の形態においては、図3に示す1次元フィルタFにより、原画像のx方向およびy方向に対してフィルタリング処理が施されるようになっているが、図6に示すような5×5の2次元フィルタにより原画像信号 Sorg およびフィルタリング処理画像信号に対して一度にフィルタリング処理が施されるようにしてもよい。

【0035】次いで、このようにして得られたフィルタリング処理画像信号 B_k に対して図2に示される補間演算処理手段11において補間演算処理が施され、これにより原画像と同一の大きさの多重解像度のボケ画像が得られる。以下この補間演算処理について説明する。

【0036】補間演算の方法としては、Bスプラインによる方法など種々の方法が挙げられるが、本発明による実施の形態においては、ローパスフィルタとしてガウス信号に基づくフィルタFを用いているため、補間演算を行うための補間係数としてもガウス信号を用いるものとする。ここで、ガウス信号を用いた補間係数とは、下記の式(4)

【0037】

【数2】

$$l(t) = 2 \cdot \sigma \cdot e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad \dots (4)$$

【0038】において、 $\sigma=2^{k-1}$ と近似したものを用いる。

【0039】フィルタリング処理画像信号 B₁ を補間する際には、k=1であるため $\sigma=1$ となる。上記式

(4)において、 $\sigma=1$ としたときの補間を行うためのフィルタは、図7に示すように5×1の1次元フィルタとなる。まずフィルタリング処理画像信号 B₁ に対して1画素おきに値が0の画素を1つずつ補間することによりフィルタリング処理画像信号 B₁ が原画像と同一のサイズに拡大される。このように値が0の画素が補間されたフィルタリング処理画像信号 B₁ を1次元的に図8に示す。そして、この補間されたフィルタリング処理画像信号 B₁ に対して上述した図7に示すフィルタF₁ によりフィルタリング処理が施される。

【0040】ここで、図7に示すフィルタF₁ は5×1

23

のフィルタであるが、図8に示すようにフィルタリング処理画像信号 B_1 は1画素おきに値が0の画素が補間されている。したがって、フィルタリング処理画像 B_1 に対してフィルタ F_1 により施されるフィルタリング処理は、実質的には 2×1 のフィルタ(0.5, 0.5)および 3×1 のフィルタ(0.1, 0.8, 0.1)の2種類のフィルタにより、施されるフィルタリング処理と等価なものとなる。そしてこのフィルタリング処理により、原画像信号 S_{org} と同一データ数、すなわち原画像と同一サイズのボケ画像の信号 S_{us1} が得られる。

【0041】次いで、フィルタリング処理画像信号 B_2 に対してフィルタリング処理が施される。フィルタリング処理画像信号 B_2 を補間する際には、 $k=2$ であるため、 $\sigma=2$ となる。上記式(4)において、 $\sigma=2$ としたときの補間を行うためのフィルタは、図9に示すように 11×1 の1次元フィルタとなる。そして、まずフィルタリング処理画像信号 B_2 に対して図10のように1画素おきに値が0の画素を3つずつ補間することによりフィルタリング処理画像信号 B_2 が原画像と同一のサイズに拡大される。値が0の画素が補間されたこのフィルタリング処理画像信号 B_2 に対して上述した図9に示すフィルタ F_2 によるフィルタリング処理が施される。

【0042】ここで、図9に示すフィルタ F_2 は 11×1 のフィルタであるが、図10に示すようにフィルタリング処理画像信号 B_2 は1画素おきに値が0の画素が3つずつ補間されている。したがって、フィルタリング処理画像信号 B_2 に対してフィルタ F_2 により施されるフィルタリング処理は、実質的には 2×1 のフィルタ(0.5, 0.5)および 3×1 のフィルタ(0.3, 0.65, 0.05)、(0.13, 0.74, 0.13)および(0.05, 0.65, 0.3)の4種類のフィルタにより施されるフィルタリング処理と等価なものとなる。そしてこのフィルタリング処理により、原画像信号 S_{org} と同一データ数のボケ画像信号 S_{us2} が得られる。

【0043】そしてこのようなフィルタリング処理が全てのフィルタリング処理画像信号 B_k に対して行われる。フィルタリング処理画像信号 B_k を補間する際には、上記式(4)に基づいて、 $3 \times 2^k - 1$ の長さのフィルタを作成し、フィルタリング処理画像信号 B_k の各画素の間に値が0の画素を $2^k - 1$ 個ずつ補間することにより、原画像と同一サイズに拡大する。この値が0の画素が補間されたフィルタリング処理画像信号 B_k に対して $3 \times 2^k - 1$ の長さのフィルタにより、フィルタリング処理が行われる。

【0044】ここで、この $3 \times 2^k - 1$ の長さのフィルタにより施されるフィルタリング処理は、 2^k 周期で長さが2または3のフィルタにより施されるフィルタリング処理と等価なものとなる。そしてこのフィルタリング処理により、 n 個のボケ画像信号 S_{usk} が得られる。このボケ画像信号 S_{usk} を可視像として表すと、結果とし

24

てそれぞれ解像度が異なる、すなわち周波数応答特性が異なる多重解像度のボケ画像となる。このように、フィルタは長くなるものの、実質的には長さが2または3のフィルタによりフィルタリング処理を施していることと同様であるため、演算量は、フィルタが長くなろうともそれほど多くはならないものである。このため、演算量を減らして、多重解像度のボケ画像信号 S_{usk} を高速に作成することが可能となる。

【0045】なお、本実施の形態においては、長さが $3 \times 2^k - 1$ の1次元のフィルタにより画像の x 方向および y 方向にフィルタリング処理が施されるようになって、予め2次元状のフィルタを作成しておき、このフィルタによりフィルタリング処理画像に対するフィルタリング処理を施すことにより、ボケ画像信号 S_{usk} が得られるようにしてもよい。この場合、フィルタリング処理画像に対して、補間演算を行うためのフィルタリング処理に使用するフィルタは、 $(3 \times 2^k - 1) \times (3 \times 2^k - 1)$ のフィルタとなるが、上述した1次元のフィルタを用いる場合と同様に、これは 2^k 周期で 2×2 または 3×3 のフィルタにより施されるフィルタリング処理と等価なものとなり、上述した1次元フィルタを用いる場合と同様に、フィルタのサイズが大きくなっても、フィルタリング処理を行うための演算量は実質的にはそれほど大きくならないものである。

【0046】このようにして得られたボケ画像信号 S_{usk} の周波数特性を図11に示す。図11に示すように、ボケ画像信号 S_{usk} の k の値が大きくなるほど、原画像信号 S_{org} の高周波成分が除去された信号となる。

【0047】図12は、上記図2のボケ画像信号作成手段を含む本発明のダイナミックレンジ圧縮処理装置の一実施の形態について、その全体の構成を示す図であるが、この図に示されるように、ボケ画像信号作成手段1において生成された各ボケ画像信号は、次に、帯域制限画像信号作成手段2および変換手段3において処理される。図12に示すように、まず、原画像信号 S_{org} およびボケ画像信号作成手段1において作成された複数のボケ画像信号 S_{usk} に基づいて帯域制限画像信号が作成されるが、この帯域制限画像信号は減算器21により、互いに隣接する周波数帯域同士のボケ画像信号 S_{usk} の減算を行うことにより得られる。すなわち、 $S_{org} - S_{us1}$ 、 $S_{us1} - S_{us2}$ 、 \dots 、 $S_{usN-1} - S_{usN}$ を順次計算することにより、複数の帯域制限画像信号が求められる。この帯域制限画像信号の周波数特性を図13に示す。図13に示すように、帯域制限画像信号はボケ画像信号 S_{usk} の k の値が大きくなるほど、原画像信号 S_{org} の低周波数成分の帯域を表す信号となる。

【0048】次いで、変換手段3において、このようにして求められた帯域制限画像信号をこの帯域制限画像信号の信号に応じて変換する。この変換は変換器22において、例えば図14に示すような関数 f により行う。この関

数 f は、帯域制限画像信号の絶対値が閾値 $Th1$ よりも小さい場合は傾きが1であり、閾値 $Th1$ よりも大きい場合は傾きが1よりも小さくなるような関数である。この関数は、各帯域制限画像信号において同一のものであってもよいが、各信号ごとに異なるものであってもよい。

【0049】このような関数 f により変換された帯域制限画像信号は、上述した積算手段4、減算手段6、および圧縮処理手段7を内包する演算器23に入力される。この演算器23においては下記のような処理が行われる。まず、上述したように関数 f により変換された帯域制限画像信号は積算されて積算信号が求められる。そしてこの積算信号が求められると、減算手段6により原画像信号 $Sorg$ から積算信号が減算されて差分信号が求められ、さらに圧縮処理手段7により、この差分信号が変換さ

$$\begin{aligned} Sproc &= Sorg + D(Sorg - Fdrc(Sorg, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ Fdrc(Sorg, Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= \{f_1(Sorg - Sus1) + f_2(Sus1 - Sus2) + \dots \\ &\quad + f_k(Susk-1 - Susk) + \dots + f_N(SusN-1 - SusN)\} \end{aligned}$$

…(5)

(但し、 $Sproc$ ：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

$Sorg$ ：原画像信号

$Susk(k=1 \sim N)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=1 \sim N)$ ：前記各帯域制限画像信号を変換する関数
 $D(Sorg - Fdrc)$ ：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数 (D は $Sorg - Fdrc$ を変換する関数)

ここで、積算手段4において得られた積算信号の周波数特性を図19に示す。図19において、実線がエッジ部が存在しない平坦部におけるボケ画像信号 $Susk$ の周波数特性を示し、破線がエッジ部近傍領域でのボケ画像信号 $Susk$ の周波数特性を示す。そして、原画像信号 $Sorg$ から積算信号を減算した差分信号の周波数特性を図20に示す。上述した帯域制限画像信号は、原画像の濃度変化が比較的小さいいわゆる平坦部においては、各周波数帯域において信号値の絶対値は小さくなるものである。これに対して、濃度が急激に変化するエッジ部近傍においては、帯域制限画像信号が比較的低周波数帯域である場合、すなわちボケ画像信号 $Susk$ を得る際のマスクのサイズが比較的大きい場合は、図35に示すように、そのエッジ部近傍の画素についておかれたマスクにエッジ部が含まれてしまうため、帯域制限画像信号がエッジ部の影響を受けて信号値の絶対値が比較的大きなものとなる。このように、本来エッジ部でない部分がエッジ部の濃度値の影響を受けることにより、ダイナミックレンジ圧縮処理を行うことにより得られた画像のエッジ部近傍にはオーバーシュート、アンダーシュートなどのアーチファクトが発生してしまう。

【0052】そこで、帯域制限画像信号の絶対値が閾値※50

※れ、原画像信号 $Sorg$ と加算されて処理済画像信号 $Sproc$ が得られる。ここで、差分信号を変換する関数 D としては例えば図15に示すように単調減少関数を用いればよい。また、図16(a)、(b)に示すように、信号値の比較的小さい領域または信号値の比較的大きい領域のみを変化させるものであってもよい。さらに、この場合、図17に示すように微係数が連続する単調減少関数を用いるようにしてもよい。また、図18(a)、(b)に示すように、図17の場合も、信号値の比較的小さい領域または信号値の比較的大きい領域のみを変化させるものであってもよい。

【0050】以上の帯域制限画像信号作成手段2、変換手段3、積算手段4、減算手段6、および圧縮処理手段7において行われる処理を下記の式(5)に示す。

【0051】

※ $Th1$ よりも大きい場合に、上述した関数 f_k によりこの絶対値が小さくなるように帯域制限画像信号を変換し、この変換された各帯域制限画像信号の絶対値を積算し、さらに原画像信号 $Sorg$ から減算することにより、上記式(2)のボケ画像信号 Sus に相当する信号を得るようにしたものである。但し、本明細書においては「ボケ画像信号」という用語をより狭い意味で使用するとし、上記式(2)のボケ画像信号 Sus に相当する信号は差分信号と称するものとする。

【0053】図20に示すように、エッジ部が存在しない平坦部における差分信号の周波数特性は実線で示すようなものとなるが、エッジ部近傍における差分信号については、図20の破線に示すように比較的高い周波数帯域までも含む特性を有するものとなる。これは、エッジ部近傍の領域においては、差分信号を得る際のマスクが実際のマスクよりも小さくされたことと同一の効果を奏するものである。

【0054】したがって、エッジ部近傍の領域に対応する比較的大きな帯域制限画像信号の、原画像信号 $Sorg$ に加算する低周波成分に関する信号に対する影響力が小さくなる。このため、濃度が急激に変化するエッジ部近傍においても、アーチファクトの原因となる信号は影響力が弱められるため、ダイナミックレンジ圧縮処理を施すことにより得られる画像をアーチファクトのない良好な画像とすることができる。

【0055】なお、上記実施の形態においては、上記式(5)により処理済画像信号 $Sproc$ を得るようにしているが、下記式(6)により処理済画像信号 $Sproc$ を得るようにしてもよい。式(5)と式(6)とで異なるのは、帯域制限画像信号を得る際に、式(5)においては

27

隣接する周波数帯域同士で減算を行っているが、式

(6)においては、全ての周波数帯域のボケ画像信号 S_{usk} と、原画像信号 S_{org} とで減算処理を行っている点が異なるものである。式(6)により得られる差分信号の周波数特性を図21に示す。図21に示すようにエッジ部が存在しない平坦部においては、差分信号の周波数特性は実線で示すようなものとなるが、エッジ部近傍の領域においては、差分信号は、図21の破線で示すように比較的高い周波数帯域までも含む特性を有するものとなる。

これは、エッジ部近傍の領域においては、ボケ画像信号 * 10 【0056】

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{org}, S_{us1}, S_{us2}, \dots, S_{usN})) \\ F_{drc}(S_{org}, S_{us1}, S_{us2}, \dots, S_{usN}) &= (1/N) \cdot \{f_1(S_{org} - S_{us1}) + f_2(S_{org} - S_{us2}) \\ &\quad + f_k(S_{org} - S_{usk}) + \dots + f_N(S_{org} - S_{usN})\} \end{aligned} \quad \dots (6)$$

(但し、 S_{proc} : ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} : 原画像信号

$S_{usk}(k=1 \sim N)$: 非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=1 \sim N)$: 前記各帯域制限画像信号を変換する関数
 $D(S_{org} - F_{drc})$: 低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数 (D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数)

さらに、上述した実施の形態においては、帯域制限画像信号を変換するための関数を図14に示すように、閾値 $Th1$ よりも信号の絶対値が大きい場合に、この信号の絶対値を小さくするような関数を用いているが、例えば図22に示すように、帯域制限画像信号の信号の絶対値が閾値 $Th1$ よりも大きい場合に、この信号の絶対値を小さくするとともに、閾値 $Th2$ よりも小さい場合に、絶対値を小さくするような関数を用いるようにしてもよい。

【0057】このように、帯域制限画像信号の絶対値が閾値 $Th1$ よりも小さい閾値 $Th2$ よりも小さいほど、この帯域制限画像信号の絶対値を小さくするように補正することにより、画像中においてノイズと見なせるよう※

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{us1}, S_{us2}, \dots, S_{usN})) \\ F_{drc}(S_{us1}, S_{us2}, \dots, S_{usN}) &= (1/N) \cdot \{f_2(S_{us1} - S_{us2}) + f_3(S_{us1} - S_{us3}) + \dots \\ &\quad + f_k(S_{us1} - S_{usk}) + \dots + f_N(S_{us1} - S_{usN})\} \end{aligned} \quad \dots (7)$$

(但し、 S_{proc} : ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org} : 原画像信号

$S_{usk}(k=1 \sim N)$: 非鮮鋭マスク画像信号

$f_k(k=2 \sim N)$: 前記各帯域制限画像信号を変換する関数
 $D(S_{org} - F_{drc})$: 低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数 (D は $S_{org} - F_{drc}$ を変換する関数)

さらに、下記の式(8)により処理を行うようにしても★

$$S_{proc} = S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{us1}, S_{us2}, \dots, S_{usN}))$$

28

* S_{us} を得る際のマスクが実際のマスクよりも小さくされたことと同一の効果を奏するものである。なお、図20と比較すると、図21の場合は全周波数帯域に亘ってレスポンスが低下したものとなっており、これにより、エッジ部の近傍でない平坦部においてもレスポンスを有するものになってしまう。このため、式(6)にしたがって、処理済画像信号 S_{proc} を求める方が平坦部のレスポンスは低下されることなくエッジ部近傍のみのレスポンスが低下されるため、より好ましいものである。

【0056】

※な信号値の絶対値の小さい成分のレスポンスを小さくすることができ、これにより処理済画像のノイズを低減することができる。

【0058】また、上述した実施の形態においては、上記式(5)または式(6)により処理済画像信号 S_{proc} を得るようにしているが、下記式(7)により処理済画像信号 S_{proc} を得るようにしてもよい。上述した式

(6)においては、帯域制限画像信号を得るために、原画像信号 S_{org} からボケ画像信号 S_{usk} を減算するようにしているが、式(7)においては、ボケ画像信号 S_{us1} からボケ画像信号 $S_{usk}(k=2 \sim N)$ を減算するようにしている点が異なるものである。式(6)により処理を行うものにおいては、画像中のノイズと見なせる高周波成分をも含めて処理してしまうため、得られる処理済画像がノイズが目立つものになってしまうことがある。これに対して式(7)により処理を行うものにおいては、高周波成分が除去されているため、ノイズが目立つことがなくなりより高画質の処理済画像を得ることができる。

【0059】

★よい。上述した式(5)においては、帯域制限画像信号 ($S_{org} - S_{us1}$) を用いているのに対して式(8)においては、帯域制限画像信号 ($S_{org} - S_{us1}$) を用いないものである。これにより図13における最高周波数成分が除去されることとなるため、式(7)により処理を行うものと同様に、処理済画像信号 S_{proc} の高周波成分が除去されてノイズが目立つことがなくなりより高画質の処理済画像を得ることができる。

【0060】

29

30

$$\begin{aligned}
 & \text{Fdrc} (\text{Sus1}, \text{Sus2}, \dots, \text{SusN}) \\
 &= \{ f_2 (\text{Sus1} - \text{Sus2}) + f_3 (\text{Sus2} - \text{Sus3}) + \dots \\
 & \quad + f_k (\text{Sus}_{k-1} - \text{Sus}_k) + \dots + f_N (\text{Sus}_{N-1} - \text{Sus}_N) \} \\
 & \dots (8)
 \end{aligned}$$

(但し、Sproc: ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg: 原画像信号

Susk(k=1~N): 非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=2~N): 前記各帯域制限画像信号を変換する関数

D(Sorg-Fdrc): 低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを変換する関数)

なお、原画像を得る際の撮影部位によって、診断に必要な周波数帯域は異なるものである。したがって、原画像を得る際の撮影部位、あるいは帯域制限画像信号の周波数帯域に応じて図14に示す関数fの形状を変化させることが望ましい。

【0061】例えばマンモグラフィの場合、直接X線部と皮膚との境界部分、すなわちエッジ部分は、信号の変化が急峻でかつ大きいため、高周波帯域の信号を除いて低周波帯域の信号のみを用いて処理を施すとアーチファクトが発生してしまう。したがって、このような画像を処理するには、高周波帯域の信号をも含めて処理するように変換処理を行わなければならない。また、胸部画像の場合には、マンモグラフィのような急峻かつ大きな信号変化が無い場合、高周波成分の信号を前記変換処理しなくてもマンモグラフィのときのようなアーチファクトは発生しない。したがって、このような画像を処理するには、低周波成分の信号のみ変換処理を行えばよい。このように、帯域制限画像信号の周波数帯域に応じて、あるいは撮影部位に応じて帯域制限画像信号の絶対値を変化させるように処理を行うことにより、撮影部位あるいは周波数帯域に応じたより観察に適した画像を得ることができる。

【0062】ここで、上記変換手段3における帯域制限画像信号の変換は、上述の閾値Th1に制限されることなく、周波数帯域ごとに異なる複数の関数f₁~f_Nに基づいて、帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる該絶対値以下の値となるように変換してもよい。この関数f₁~f_Nは、画像処理の目的に応じて適切な関数の組み合わせを設定することが望ましい。

【0063】この閾値にとらわれない実施の形態においては、得られる処理済画像信号Sprocの周波数特性は、変換手段3において使用される関数を周波数帯域ごとに異ならしめることにより任意の周波数特性になるように調整可能である。したがって、前記各装置においてそれぞれ処理対象である画像に求められる条件に応じて、処理済画像信号Sprocの周波数特性を調整することが可能となる。

【0064】以下、前記関数を周波数帯域ごとに異なら

*しめることにより得られる効果について説明する。図23は、関数f₁~f_Nを全て同一の関数とする、すなわち全周波数帯域の帯域制限画像信号を同じ変換方法で変換する従来の方法の問題点を示す図である。これは画像の濃度が急激に変化しているエッジ部の近傍における処理を段階的に示したものであるが、階段状の原画像信号とその原画像信号に基づいて作成されたボケ画像信号が(a)であり、これに関する帯域制限画像信号が(b)、変換画像信号が(c)およびこの変換画像信号を積算して得た信号が(d)としてそれぞれ示されている。

【0065】この図に示されるように、通常変換画像信号を積算して得た信号は周波数帯域の境界部において不自然なつなぎ目ができてしまい、これがすじ状のアーチファクトの原因となる。これを防止するためには、この境界部ができるだけ自然につながるよう考慮して変換画像信号を作成しなければならない。しかしながら、関数が一意に定められている場合には各帯域制限画像信号に対して境界部の影響を考慮した任意の変換を行うことができず、結果としてすじ状のアーチファクトを防止することができない。これに対し、本実施の形態は、前記関数を周波数帯域ごとに異なるものとし、これらの関数を前記周波数帯域の境界部を考慮して設定することにより、このすじ状のアーチファクトを防止することができる。

【0066】次に、このような周波数ごとに異なる関数について例を示して説明する。図24は、上述のように変換画像信号の作成に使用される関数の一例であり、横軸に処理される帯域制限画像信号が、縦軸にその帯域制限画像信号が処理された値がそれぞれ対応している。この関数は、帯域制限画像信号を、その帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる、その絶対値以下の値となるように変換を行うもので、帯域制限画像信号の絶対値が所定の値より大きい帯域制限画像信号については、変換画像信号の値がほぼ一定の値となるように帯域制限画像信号を変換する関数であり、図24に示されるように低周波帯域を処理する関数であるほど、前記所定の値が小さい値であるような関数である。

【0067】言い換えれば、これらの関数はそれぞれ、原点を通り、関数の傾きがその関数により処理される帯域制限画像信号の値にかかわらず1以下であり、その関数により処理される帯域制限画像信号の値の絶対値の増加にともないその関数の傾きが0になるかまたは0に収束するような関数であって、その傾きが0または0に近い所定の値となるときの前記処理される値の絶対値が、低周波帯域を処理する関数であるほど小さい値であることを特徴とするものであり、より狭いダイナミックレン

10

20

30

40

31

ジにできるだけ多くのエッジ情報を残すようにするという効果がある関数である。

【0068】次に図25の関数について説明する。図25の関数は、帯域制限画像信号を、帯域制限画像信号の絶対値に基づいて決まる、その絶対値以下の値となるように変換を行うもので、この関数が低周波帯域を処理する関数であるほど、帯域制限画像信号の絶対値が0近傍の所定の範囲内の値である帯域制限画像信号を変換した際に得られる変換画像信号の絶対値が小さい値であることを特徴とするものである。

【0069】言い換えれば、これらの関数はそれぞれ、原点を通り、関数の傾きがその関数により処理される値にかかわらず1以下であり、その関数の0近傍における傾きが、低周波帯域を処理する関数であるほど小さいことを特徴とするものである。これらの関数は、図23に示される変換画像信号を積算して得られる信号(d)の立ち上がりより自然なものとするという効果があり、これにより、より滑らかな処理済画像信号Sprocを得ることができる。

【0070】さらに、上記2種類の関数の特徴を兼ね備えるような関数を用いて上述の両方の効果を得ることも可能である。このように、各周波数帯域において使用される関数を目的に応じて異なるものとすれば、全体の周波数特性を任意のものとすることができる。

【0071】次に、本発明のダイナミックレンジ圧縮処理方法および装置の他の実施の形態について説明する。但し、本実施の形態におけるボケ画像信号作成手段1、帯域制限画像信号作成手段2、積算手段4、減算手段6、圧縮処理手段7の処理は上記実施の形態と同じであるため、ここでは説明を省略し、変換手段3の処理についてのみ、以下説明する。

【0072】図26はこの実施の形態における本発明のダイナミックレンジ圧縮処理装置の全体の構成を示す図である。上記実施の形態と同様、原画像信号Sorgおよびボケ画像信号作成手段1において作成された複数のボケ画像信号Sus_kに基づいて帯域制限画像信号が作成される。この帯域制限画像信号は減算器21により、互いに隣接する周波数帯域の2つのボケ画像信号Sus_k（但し原画像信号SorgについてはSorgとSus₁）の減算を行うことにより得られる。すなわち、Sorg - Sus₁、Sus₁ - Sus₂、…、Sus_{N-1} - Sus_Nを順次計算することにより、複数の帯域制限画像信号が求められる。本実施の形態では、例えば帯域制限画像信号Sus₁ - Sus₂に対し、これに対応する補助画像信号をSus₂ - Sus₃としている。したがって、帯域制限画像信号作成手段と補助*

32

*画像信号作成手段は実質的に同一の手段を兼用するものとする。つまり、帯域制限画像信号作成手段により作成された信号は、帯域制限画像信号として処理されると同時に、隣接する帯域制限画像信号に対応する補助画像信号としても処理されるものとする。

【0073】上記のようにして求められた帯域制限画像信号は、変換手段3において変換される。この変換は各帯域制限画像信号に対して、図26に示される変換器22および変換器24により、周波数帯域ごとにそれぞれ、変換器22においては関数f₁～f_Nにより変換処理を施して抑制画像信号を得、変換器24においては関数gにより変換処理を施して倍率信号を得て、その抑制画像信号と倍率信号とを乗ずることにより行われる。この際、乗算は、図26に示されるように、例えば帯域制限画像信号Sus₁ - Sus₂を変換して得た抑制画像信号と、補助画像信号Sus₂ - Sus₃を変換して得た倍率信号というように、隣接した周波数帯域の信号どうしで行われる。ここで、関数f_kにより変換を行う変換器22が、前記抑制画像信号作成手段に相当し、関数gにより変換を行う変換器24が、前記倍率信号作成手段に相当し、それらの変換器の出力信号を乗ずる乗算器25が、前記乗算手段に相当する。

【0074】関数f₁～f_Nは、全て同じ関数であってもよいし、異なる関数であってもよく、画像処理の目的に応じて任意に設定可能なものとする。本実施の形態では、この関数f₁～f_Nとして、帯域制限画像信号をその帯域制限画像信号の絶対値よりも小さくなるように抑制する関数で、周波数帯域ごとに異なる関数を用いており、例えば図24に示されるような関数が使用される。

【0075】関数gとしては、例えば図27に示されるようなものが用いられる。この図は、この関数gによって補助画像信号を変換する場合、補助画像信号の絶対値が小さいときには、変換後の値として1に近い値が得られ、絶対値が大きいほど0に近い値が得られることを示している。なお、Kは変換後の値が0となる値のうち最小の値を示している。

【0076】上記変換手段3により得られた変換画像信号は、演算器23に入力される。演算器23は、積算手段4、減算手段6、および圧縮処理手段7を内包するものである。演算器23においては、上述の複数の変換画像信号が積算され、原画像信号Sorgからその積算値が減じられて差分信号が求められ、この差分信号の値に応じた圧縮係数Dが原画像信号Sorgと加算されて処理済画像信号Sprocが得られる。この処理を数式として表すと、下記の式(9)

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D (S_{org} - F_{drc} (S_{org}, Sus_1, Sus_2, \dots, Sus_N)) \\ F_{drc} (S_{org}, Sus_1, Sus_2, \dots, Sus_N) &= \{ f_1 (S_{org} - Sus_1) \cdot g (Sus_1 - Sus_2) \\ &\quad + f_2 (Sus_1 - Sus_2) \cdot g (Sus_2 - Sus_3) + \dots \\ &\quad + f_k (Sus_{k-1} - Sus_k) \cdot g (Sus_k - Sus_{k+1}) + \dots \end{aligned}$$

$$+ f_N(SusN-1-SusN) \cdot g(SusN-SusN+1) \}$$

… (9)

(但し、Sproc：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg：原画像信号

Susk(k=1~N+1)：非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=1~N)：前記各帯域制限画像信号を変換して前記抑制信号を作成するための関数

g：前記各補助画像信号を変換して前記倍率信号を作成するための関数

D(Sorg-Fdrc)：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを変換する関数)

のようになる。

【0077】図28は、上記実施の形態においてエッジ付近の画像信号を処理した際の効果を示す図である。(1)はエッジ付近における階段状の原画像信号と、その原画像信号に基づいて作成されたボケ画像信号を示し、(2)は、(1)の信号の帯域制限画像信号を示し、(3)は(2)の帯域制限画像信号より1つ低い周波数帯域の信号を含む*20

$$\begin{aligned} Sproc &= Sorg + D(Sorg - Fdrc(Sorg, Sus1, Sus2, \dots, SusN)) \\ Fdrc(Sorg, Sus1, Sus2, \dots, SusN) &= \{ f_1(Sorg - Sus1) \cdot g(Sorg - Sus2) \\ &\quad + f_2(Sus1 - Sus2) \cdot g(Sorg - Sus3) + \dots \\ &\quad + f_k(Susk-1 - Susk) \cdot g(Sorg - Susk+1) + \dots \\ &\quad + f_N(SusN-1 - SusN) \cdot g(Sorg - SusN+1) \} \end{aligned}$$

… (10)

(但し、Sproc：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

Sorg：原画像信号

Susk(k=1~N+1)：非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=1~N)：前記各帯域制限画像信号を変換して前記抑制信号を作成するための関数

g：前記各補助画像信号を変換して前記倍率信号を作成するための関数

D(Sorg-Fdrc)：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数(DはSorg-Fdrcを変換する関数)

のような式にしたがってダイナミックレンジ圧縮処理を行ってもよい。

【0079】図29は、この式(10)を適用した実施の形態においてエッジ付近の画像信号を処理した際の効果を示す図であり、図28と同様に、(1)はエッジ付近における階段状の原画像信号と、その原画像信号に基づいて作成されたボケ画像信号を示し、(2)は、(1)の信号の帯域制限画像信号を示し、(3)は(2)の帯域制限画像信号より1つ低い周波数帯域の信号を含む補助画像信号を示し、(4)は(3)の信号を関数gにより処理した際に得られる倍率信号を示し、(5)は(2)の帯域制限画像信号を関数fで処理した抑制画像信号に(4)の倍率信号を乗じたものを ※50

*補助画像信号を示し、(4)は(3)の補助画像信号を関数gにより処理した際に得られる倍率信号を示し、(5)は(2)の信号を関数fで処理した抑制画像信号に(4)の倍率信号を乗じたものを示している。なお(3)に示されている値Kは、図27に示した値Kであり、(3)の補助画像信号がKとなる時に(4)の倍率信号が0となることが図示されている。(2)の信号を単に絶対値が小さくなるように変換した場合には、信号のピークの形状は滑らかになるものの、立ち上がり部分は急峻なままとなる。これに対し、(5)に示される処理済信号は立ち上がり部分が滑らかになっている。このように各帯域制限画像信号の立ち上がり部分を滑らかにすることにより、これらの信号を積算して得られる信号の周波数帯域の境界に階段状に生じるアーチファクトを防止することができる。

【0078】なお、関数gにより処理される補助画像信号は、必ずしも上記のようなものでなくてもよく、例えば下記の式(10)

※示している。この図に示されるように、関数gにより処理する値としてSorg-Suskを用いる場合、コントラストの大きなエッジは、コントラストの小さなエッジに比べて、変換により得られる信号が小さくなる。

【0080】この信号が積算されたものが、原画像信号から減じられ、その減じられた値に応じて定まる圧縮係数Dが原画像信号に加算される。この場合、コントラストの大きなエッジは、コントラストの小さなエッジに比べ、処理済画像信号に与える影響が少なくなるという効果が得られる。

【0081】以上、2種類の式について説明したが、関数fおよびgについて、あるいは関数gにより処理する帯域制限画像信号の作成方法については、様々な変更が可能である。

【0082】次に、本発明の画像処理方法および装置のさらに他の実施の形態について説明する。但し、この実施の形態についても、ボケ画像信号作成手段1、帯域制限画像信号作成手段2、積算手段4、減算手段6、圧縮処理手段7の処理は上記実施の形態と同じであるため説明を省略し、変換手段3の処理についてのみ、以下説明する。

【0083】図30は本実施の形態における画像処理装置の全体の構成を示す図である。上記実施の形態と同様、

35

原画像信号Sorgおよびボケ画像信号作成手段1において作成された複数のボケ画像信号Sus_kに基づいて帯域制限画像信号が作成される。この帯域制限画像信号は減算器21により、互いに隣接する周波数帯域の2つのボケ画像信号Sus_k（但し原画像信号SorgについてはSorgとSus₁）の減算を行うことにより得られる。すなわち、Sorg - Sus₁、Sus₁ - Sus₂、…Sus_{N-1} - Sus_Nを順次計算することにより、複数の帯域制限画像信号が求められる。

【0084】上記のようにして求められた帯域制限画像信号は、変換手段3において変換される。この変換では、図30に示されるように、ある周波数帯域の帯域制限画像信号に、その周波数帯域よりも1つ低い周波数帯域の帯域制限画像信号を変換器24により関数gを用いて変換したものを加えて、さらにそれを変換器22により関数f_kを用いて変換する。ここで、関数gにより変換を行う変換器24が、前記補助画像信号作成手段に相当し、加算器26が前記複合帯域制限画像信号作成手段に相当する。

【0085】関数gとしては、例えば図31に示されるようなものが用いられる。図31に示される関数は原点をとり原点における傾きはほぼ0であり、処理される値が大きくなるにつれて傾きが漸増し、最終的に傾きがほぼ1となるような関数である。すなわち、信号の大きさが小さいときには強く抑制し、大きくなるにつれて抑制の度合いを緩めるといものである。上述の処理において、この関数の、原点から徐々に傾きが増加する部分 *

$$\begin{aligned} S_{proc} &= S_{org} + D(S_{org} - F_{drc}(S_{org}, Sus_1, Sus_2, \dots, Sus_N)) \\ F_{drc}(S_{org}, Sus_1, Sus_2, \dots, Sus_N) &= [f_1\{(S_{org} - Sus_1) + g(Sus_1 - Sus_2)\} \\ &\quad + f_2\{(Sus_1 - Sus_2) + g(Sus_2 - Sus_3)\} + \dots \\ &\quad + f_k\{(Sus_{k-1} - Sus_k) + g(Sus_k - Sus_{k+1})\} + \dots \\ &\quad + f_N\{(Sus_{N-1} - Sus_N) + g(Sus_N - Sus_{N+1})\}] \\ &\quad \dots (11) \end{aligned}$$

（但し、S_{proc}：ダイナミックレンジが圧縮された画像信号

S_{org}：原画像信号

Sus_k(k=1~N+1)：非鮮鋭マスク画像信号

f_k(k=1~N)：前記各複合帯域制限画像信号を変換するための関数

g：前記各帯域制限画像信号を変換して前記補助画像信号を作成するための関数

D(S_{org} - F_{drc})：低周波成分信号に基づいて定められるダイナミックレンジ圧縮係数（DはS_{org} - F_{drc}を変換する関数）

のようになる。

【0088】図33は、この実施の形態においてエッジ付近の画像信号を処理した際の効果を示す図である。(1)はエッジ付近における階段状の原画像信号と、その原画像信号に基づいて作成されたボケ画像信号を示し、(2) ※50

36

*は、補助画像信号の立ち上がりの部分の波形に影響を与える。すなわち、この関数により変換を行うことで、急峻な立ち上がり部分を滑らかにすることができる。ここで、実際の帯域制限画像信号の大きさには限度があるため、関数gは原点付近で傾きが0から徐々に増加するような関数であれば、どのようなものでもよく例えば、図32に示されるようなものであってもよい。また、本実施の形態では、信号の増幅は行わないため、傾きは最大1としているが、本発明の効果は関数の傾きが原点付近で漸増することにより得られるものであるため、この条件が満たされていれば、必ずしも傾きを最大1に限定する必要はない。

【0086】関数f₁~f_Nは、全て同じ関数であってもよいし、異なる関数であってもよく、画像処理の目的に応じて任意に設定可能なものとする。本実施の形態では、この関数f₁~f_Nとして、例えば図24のような関数を使用する。

【0087】上記変換手段3により得られた変換画像信号は、演算器23に入力される。演算器23は、積算手段4、減算手段6および圧縮処理手段7を内包するものである。演算器23においては、複数の変換画像信号が積算され、原画像信号Sorgからその積算値が減じられて差分信号が求められ、この差分信号が変換され、原画像信号Sorgと加算されて処理済画像信号S_{proc}が得られる。この処理を、他の処理とともに数式として表すと、下記の式(11)

※および(3)は、(1)の信号にかかる帯域制限画像信号であって、(2)を被変換帯域制限画像信号とした場合の低周波側帯域制限画像信号が(3)である。(4)は(3)の低周波側帯域制限画像信号を関数gにより処理した際に得られる補助画像信号を示し、(5)は(2)の被変換帯域制限画像信号と(4)の補助画像信号を加算した複合帯域制限画像信号を示し、(6)は(5)の複合帯域制限画像信号を関数fにより処理して得られる変換画像信号を示している。この図において、(2)の信号を単に絶対値が小さくなるように変換した場合には、信号のピークの形状は滑らかになるものの、立ち上がり部分は急峻なままとなる。これに対し、(5)に示される処理済信号は立ち上がり部分が滑らかになっている。このように各帯域制限画像信号の立ち上がり部分を滑らかにすることにより、これらの信号を積算して得られる信号の周波数帯域の境界が階段状になることが原因で処理済画像信号に生じるアーチファ

37

クトを防止することができる。

【0089】以上、2つの式について説明したが、この実施の形態においても、例えば、関数 f および g について、様々な変更が可能である。

【0090】なお、上記実施の形態においては、ボケ画像信号 $Susk$ を用いてダイナミックレンジ圧縮処理を行うようにしているが、このダイナミックレンジ圧縮処理*

$$\begin{aligned} Sproc &= Sorg + \beta (Sorg) \cdot F_{usm} (Sorg, Sus1, Sus2, \dots, SusN) \\ F_{usm} (Sorg, Sus1, Sus2, \dots, SusN) \\ &= \{ f_{u1} (Sorg - Sus1) + f_{u2} (Sus1 - Sus2) + \dots \\ &\quad + f_{uk} (Susk-1 - Susk) + \dots + f_{uN} (SusN-1 - SusN) \} \\ &\dots (12) \end{aligned}$$

(但し、 $Sproc$ ：高周波成分が強調された画像信号

$Sorg$ ：原画像信号

$Susk(k=1 \sim N)$ ：非鮮鋭マスク画像信号

$f_{uk}(k=1 \sim N)$ ：前記各帯域制限画像信号を変換する関数

$\beta(Sorg)$ ：原画像信号に基づいて定められる強調係数)

ここで、関数 f_{uk} は、上述した関数 f_k と同様に、帯域制限画像信号の絶対値が閾値 $Th1$ よりも小さい場合は傾きが1であり、閾値 $Th1$ よりも大きい場合は傾きが1よりも小さくなるような関数である。この関数は、各帯域制限画像信号において同一のものであってもよいが、各信号ごとに異なるものであってもよい。また、関数 f_{uk} と関数 f_k とを異なるものとしてもよい。

【0093】この式(12)にしたがって、原画像信号 $Sorg$ に周波数強調処理を施すことにより得られる処理済画像信号 $Sproc$ の周波数特性を図34に示す。上述した帯域制限画像信号は、原画像の濃度変化が比較的小さいいわゆる平坦部においては、各周波数帯域において信号値の絶対値は小さくなるものである。これに対して、濃度が急激に変化するエッジ部近傍においては、帯域制限画像信号が比較的低周波数帯域である場合、すなわちボケ画像信号 $Susk$ を得る際のマスクのサイズが比較的大きい場合は、上述した図35に示すように、そのエッジ部近傍の画素についておかれたマスクにエッジ部が含まれてしまうため、帯域制限画像信号がエッジ部の影響を受けて絶対値が比較的大きなものとなる。このように、本来エッジ部でない部分がエッジ部の濃度値の影響を受けることにより、画像処理を行うことにより得られた画像のエッジ部にはオーバーシュート、アンダーシュートなどのアーチファクトが発生してしまう。

【0094】そこで、帯域制限画像信号の信号値の絶対値が閾値 $Th1$ よりも大きい場合に、上述した関数 f_u によりこの絶対値が小さくなるように帯域制限画像信号を変換し、この変換された各帯域制限画像信号を加算し、さらに所定の強調度で強調することにより、原画像信号 $Sorg$ に加算するための高周波成分に関する信号を得るようにしたものである。

38

*に加えて、このボケ画像信号 $Susk$ を用いて原画像信号 $Sorg$ に対して周波数強調処理を施すようにしてもよい。

【0091】すなわち、上述したようにして作成された複数のボケ画像信号 $Susk$ について、下記の式(12)により周波数強調処理を施す。

【0092】

※【0095】これにより、図34に示すように、エッジ部が存在しない平坦部においては処理済画像信号 $Sproc$ の周波数特性は実線で示すようなものとなるが、エッジ部近傍の領域においては、処理済画像信号 $Sproc$ は図34の破線で示すように比較的低周波数帯域のレスポンスが低下されたような特性を有するものとなる。これは、エッジ部近傍の領域においては、式(1)におけるボケ画像信号 Sus を得る際のマスクが実際のマスクよりも小さくされたことと同一の効果を奏するものである。

【0096】したがって、エッジ部近傍の領域に対応する比較的大きな帯域制限画像信号は、原画像信号 $Sorg$ に加算するための高周波成分に関する信号に対する影響力が小さくなる。このため、濃度が急激に変化するエッジ部近傍においても、アーチファクトの原因となる信号は影響力が弱められるため、周波数強調処理を施すことにより得られる画像をアーチファクトのない良好な画像とすることができる。

【0097】また、このようにダイナミックレンジ圧縮処理と周波数強調処理とを同時に行うことにより、処理に用いるボケ画像信号 $Susk$ を共用することができるため、ダイナミックレンジ圧縮処理と周波数強調処理とを別々に行うものと比較して演算時間を短縮して、効率のよい処理を行うことが可能となる。

【0098】さらに、ダイナミックレンジ圧縮処理と周波数強調処理とを同時に行う場合において、ダイナミックレンジ圧縮処理においては原画像の比較的低周波成分の影響が大きく、周波数強調処理においては比較的高周波成分の影響が大きいため、ダイナミックレンジ圧縮処理を行う場合には、複数のボケ画像信号 $Susk$ のうち比較的低周波帯域のボケ画像信号 $Susk$ を用い、周波数強調処理を行う場合には比較的高周波帯域のボケ画像信号 $Susk$ を用いるようにし、双方の処理に異なる周波数帯域のボケ画像信号 $Susk$ を用いるようにしてもよい。

【0099】さらに、周波数強調処理を行う場合、上記式(12)による処理に限定されるものではなく、下記の式(13)による処理を行うようにしてもよい。

【0100】

$$\begin{aligned}
 & 39 \quad S_{proc} = S_{org} + \beta (S_{org}) \cdot F_{usm} (S_{org}, S_{us1}, S_{us2}, \dots S_{usN}) \\
 & \quad F_{usm} (S_{org}, S_{us1}, S_{us2}, \dots S_{usN}) \\
 & \quad = (1/N) \cdot \{ f_{u1} (S_{org} - S_{us1}) + f_{u2} (S_{us1} - S_{us2}) + \dots \\
 & \quad \quad + f_{uk} (S_{usk-1} - S_{usk}) + \dots + f_{uN} (S_{usN-1} - S_{usN}) \} \\
 & \quad \dots (13)
 \end{aligned}$$

(但し、 S_{proc} : 高周波成分が強調された画像信号

S_{org} : 原画像信号

$S_{usk} (k=1 \sim N)$: 非鮮鋭マスク画像信号

$f_{uk} (k=1 \sim N)$: 前記各帯域制限画像信号を変換する関数

$\beta (S_{org})$: 原画像信号に基づいて定められる強調係数)

なお、上記実施の形態においては、ガウス信号のフィルタを用いて、補間演算処理を行うようにしているが、Bスプライン補間演算によりフィルタリング処理画像に対*

$$f_k (x) = A_k x^3 + B_k x^2 + C_k x + D_k \quad \dots (14)$$

において(式(7)において B_k は便宜上用いられる係数であり、フィルタリング処理画像とは異なる。)、

$$f_k' (X_k) = f_{k-1}' (X_k) \quad \dots (15)$$

$$f_k' (X_{k+1}) = f_{k+1}' (X_{k+1}) \quad \dots (16)$$

$$f_k'' (X_k) = f_{k-1}'' (X_k) \quad \dots (17)$$

$$f_k'' (X_{k+1}) = f_{k+1}'' (X_{k+1}) \quad \dots (18)$$

が条件となる。ただし、画素 X_k における第1階微分係*

$$f_k' (X_k) = (Y_{k+1} - Y_{k-1}) / (X_{k+1} - X_{k-1}) \quad \dots (19)$$

同様に、画素 X_{k+1} における第1階微分係数が、その画素 X_{k+1} の前後の画素である X_k と X_{k+2} とについて、

これらの画像信号 Y_k 、 Y_{k+2} の勾配 $(Y_{k+2} - Y_k) \star$

$$f_k' (X_{k+1}) = (Y_{k+2} - Y_k) / (X_{k+2} - X_k) \quad \dots (20)$$

また関数 $f(X)$ は一般に下記式(21)に示すもので近似される。

$$f(X) = f(0) + f'(0) X + \{ f''(0)/2 \} X^2 \quad \dots (21)$$

ここで、各区分 $X_{k-2} \sim X_{k-1}$ 、 $X_{k-1} \sim X_k$ 、 $X_k \sim X_{k+1}$ 、 $X_{k+1} \sim X_{k+2}$ の間隔(格子間隔という)を1とし、画素 X_k からの画素 X_{k+1} 方向への補間点 X_p の位置を t ($0 \leq t \leq 1$)とすれば、式(15)～(18)および(21)より、

$$f_k' (0) = C_k = (Y_{k+1} - Y_{k-1}) / 2$$

$$f_k' (1) = 3A_k + 2B_k + C_k = (Y_{k+2} - Y_k) / 2$$

$$f_k'' (0) = Y_{k+1} - 2Y_k + Y_{k-1} = 2B$$

したがって、

$$A_k = (Y_{k+2} - 3Y_{k+1} + 3Y_k - Y_{k-1}) / 6$$

$$B_k = (Y_{k+1} - 2Y_k + Y_{k-1}) / 2$$

$$C_k = (Y_{k+1} - Y_{k-1}) / 2$$

ここで、 D_k は未知のため、

$$\begin{aligned}
 f_k(t) = & \{ (-t^3 + 3t^2 - 3t + D_4) / 6 \} Y_{k-1} \\
 & + \{ (3t^3 - 6t^2 + D_3) / 6 \} Y_k \\
 & + \{ (-3t^3 + 3t^2 + 3t + D_2) / 6 \} Y_{k+1} \\
 & + \{ (t^3 + D_1) / 6 \} Y_{k+2} \quad \dots (22)
 \end{aligned}$$

ここで、 $t=1$ とおけば、

*して補間演算処理を施すようにしてもよい。以下、このBスプライン補間演算処理について説明する。

【0101】Bスプライン補間演算は、比較的鮮鋭度の低い滑らかな2次画像を再生するための補間画像データを得るための補間演算方法である。このBスプライン補間演算は、元のサンプル点(画素)を通ることは必要とされない代わりに、第1階微分係数および第2階微分係数($f''(X)$ で表す)が各区分間で連続することが必要とされる。

【0102】すなわち、

※数が、その画素 X_k の前後の画素である X_{k-1} と X_{k+1} とについて、これらの画像信号 Y_{k-1} 、 Y_{k+1} の勾配 $(Y_{k+1} - Y_{k-1}) / (X_{k+1} - X_{k-1})$ に一致することとが条件であるから、下記式(19)を満たす必要がある。

【0103】

★ $(Y_{k+2} - Y_k) / (X_{k+2} - X_k)$ に一致することが条件であるから、下記式(20)を満たす必要がある。

【0104】

☆【0105】

☆30

$$\blacklozenge D_k = (D_1 Y_{k+2} + D_2 Y_{k+1} + D_3 Y_k + D_4 Y_{k-1}) / 6$$

とおく。また、スプライン補間関数 $f_k(x)$ は上述の通り、 $X=t$ なる変数変換をしているため、

$$f_k(x) = f_k(t)$$

となる。よって、

$$\begin{aligned}
 f_k(t) = & \{ (Y_{k+2} - 3Y_{k+1} + 3Y_k - Y_{k-1}) / 6 \} t^3 + \{ (Y_{k+1} - 2Y_k + Y_{k-1}) / 2 \} t^2 \\
 & + \{ (Y_{k+1} - Y_{k-1}) / 2 \} t + (D_1 Y_{k+2} + D_2 Y_{k+1} + D_3 Y_k + D_4 Y_{k-1}) / 6
 \end{aligned}$$

となり、これを画像信号 Y_{k-1} 、 Y_k 、 Y_{k+1} 、 Y_{k+2} について整理すると、下記式(22)で表すことができる。

◆【0106】

$$*50 * f_k(1) = \{ (D_4 - 1) / 6 \} Y_{k-1} + \{ (D_3 -$$

3) / 6} Y_k + { (D₂ + 3) / 6} Y_{k+1} + { (D₁ + 1) / 6} Y_{k+2} * 次に区間X_{k+1} ~ X_{k+2} についての式 (23) は、

$$f_{k+1}(t) = \{ (-t^3 + 3t^2 - 3t + D_4) / 6 \} Y_k + \{ (3t^3 - 6t^2 + D_3) / 6 \} Y_{k+1} + \{ (-3t^3 + 3t^2 + 3t + D_2) / 6 \} Y_{k+2} + \{ (t^3 + D_1) / 6 \} Y_{k+3} \quad \dots (23)$$

ここで、t=0とおけば、

$$f_{k+1}(0) = (D_4 / 6) Y_k + (D_3 / 6) Y_{k+1} + (D_2 / 6) Y_{k+2} + (D_1 / 6) Y_{k+3}$$

連続性の条件 (f_k (1) = f_{k+1} (0))、および各フィルタリング処理画像信号に対応する係数同士が等し※

※いという条件により、D₄ - 1 = 0, D₃ - 3 = D₄, D₂ + 3 = D₃, D₁ + 1 = D₂, D₁ = 0、となり、したがって、

$$D_k = (Y_{k+1} + 4 Y_k + Y_{k-1}) / 6$$

となる。よって、

$$Y_p = f_k(t) = \{ (-t^3 + 3t^2 - 3t + 1) / 6 \} Y_{k-1} + \{ (3t^3 - 6t^2 + 4) / 6 \} Y_k + \{ (-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1) / 6 \} Y_{k+1} + \{ t^3 / 6 \} Y_{k+2} \quad \dots (24)$$

したがって、フィルタリング処理画像信号Y_{k-1}、Y_k、Y_{k+1}、Y_{k+2}にそれぞれ対応する補間係数b_{k-1}、b_k、b_{k+1}、b_{k+2}は、

$$b_{k-1} = (-t^3 + 3t^2 - 3t + 1) / 6 \\ b_k = (3t^3 - 6t^2 + 4) / 6 \\ b_{k+1} = (-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1) / 6 \\ b_{k+2} = t^3 / 6$$

となる。

【0107】以上の演算を各区間X_{k-2} ~ X_{k-1}、X_{k-1} ~ X_k、X_k ~ X_{k+1}、X_{k+1} ~ X_{k+2}について繰り返すことにより、フィルタリング処理画像信号の全体についてフィルタリング処理画像信号とは間隔の異なる補間画像信号を求めることができる。

【0108】したがって、このBスプライン補間演算処理を各フィルタリング処理画像信号B_kに対して施すことにより、各フィルタリング処理画像信号B_kに対応したポケ画像信号S_{usk}を得ることができる。

【0109】また、上述した実施の形態においては、原画像信号S_{org}に対して1画素おきにフィルタリング処理を施し、さらに補間演算を施すことによりポケ画像信号S_{usk}を得るようにしているが、これに限定されるものではなく、複数のサイズのポケマスクを用いて、原画像信号S_{org}にフィルタリング処理を施すことにより、複数の周波数応答特性が異なるポケ画像信号S_{usk}を得るようにしてもよい。

【0110】さらに、上述した実施の形態におけるダイナミックレンジ圧縮処理を断層撮影により画像に現れる流れ像のダイナミックレンジ圧縮処理を行う場合にも適用できるものである。また、この場合、上述した周波数強調処理を合わせて行うことにより、流れ像の除去とともに、エッジ部近傍におけるアーチファクトの発生を防止することができる。

【0111】すなわち、断層撮影を行うことにより得られる流れ像を除去するために、ポケマスクを用いた画像処理を行う方法が提案されているが(特開平3-276265 ★50

★号)、この場合においても、急激に濃度が変化するエッジ部の近傍において、アーチファクトが発生するという問題がある。この場合、流れ像を除去するためにはポケマスクを1次元としてポケ画像信号S_{usk}を得るが、上述した実施の形態における互いに周波数応答特性が異なるポケ画像信号を得る際に、流れ像を除去するための1次元ポケマスクによるフィルタリング処理を行い、これに基づいて上述したような帯域制限画像信号を得、この帯域制限画像信号の絶対値が比較的大きい場合は、その絶対値が小さくなるように変換して、その後の処理を行うことにより、流れ像を除去するとともに、アーチファクトのない良好な画像を得ることができる。

【0112】また、流れ像を除去するための1次元ポケマスクによる処理とともに、上述した2次元のポケマスク、あるいは1次元ポケマスクを2次元的に施す処理を同時に行うようにしてもよい。これにより、原画像から流れ像が除去されるとともに、エッジ部近傍のアーチファクトをより一層低減することができるため、より画質のよい処理済画像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるダイナミックレンジ圧縮処理装置の概念を表す図

【図2】ポケ画像信号作成手段の詳細を表す図

【図3】ポケ画像信号作成手段において用いられるフィルタ(1次元)を表す図

【図4】フィルタリング処理の詳細を表す図

【図5】フィルタリング処理画像信号の周波数特性を表す図

【図6】フィルタリング処理手段において用いられるフィルタ(2次元)を表す図

【図7】フィルタリング処理画像信号B₁の補間演算に用いられるフィルタを表す図

【図8】補間演算の詳細を表す図

【図9】フィルタリング処理画像信号B₂の補間演算に用いられるフィルタを表す図

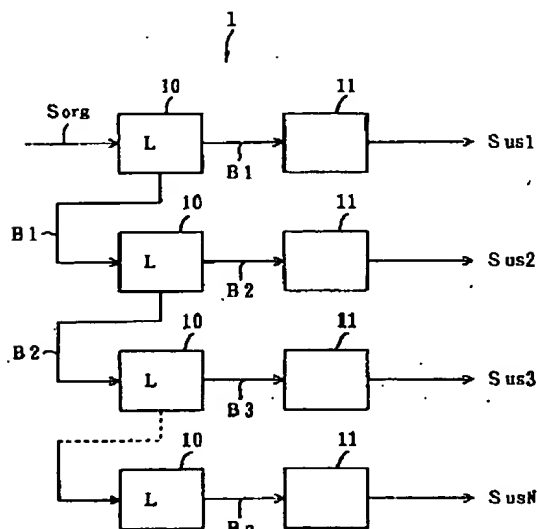
- 【図10】補間演算の詳細を表す図
 【図11】ボケ画像信号の周波数特性を表す図
 【図12】本発明のダイナミックレンジ圧縮処理装置の一実施の形態における全体構成を示す図
 【図13】帯域制限画像信号の周波数特性を表す図
 【図14】変換手段における帯域制限画像信号の変換処理の一例を表す図
 【図15】差分信号を変換する単調減少関数の例を表す図
 【図16】差分信号を変換する単調減少関数の他の例を表す図
 【図17】差分信号を変換する単調減少関数のさらに他の例を表す図
 【図18】差分信号を変換する単調減少関数のさらに他の例を表す図
 【図19】積算信号の周波数特性を表す図
 【図20】差分信号の周波数特性を表す図
 【図21】差分信号の他の周波数特性を表す図
 【図22】変換手段における帯域制限画像信号の変換処理の他の例を表す図
 【図23】全ての帯域制限画像信号を1種類の関数で変換した際の問題点を示す図
 【図24】変換手段において変換処理に使用される関数の一例を示す図
 【図25】変換手段において変換処理に使用される関数の他の例を示す図
 【図26】本発明のダイナミックレンジ圧縮処理装置の他の実施の形態における全体構成を示す図
 【図27】倍率信号作成手段において使用される関数の一例を示す図
 【図28】図26に示す実施の形態における効果を示す

- 図
 【図29】図26に示す実施の形態における効果を示す他の図
 【図30】本発明のダイナミックレンジ圧縮処理装置のさらに他の実施の形態における全体構成を示す図
 【図31】各帯域制限画像信号を変換して補助画像信号を作成するための関数の一例を示す図
 【図32】各帯域制限画像信号を変換して補助画像信号を作成するための関数の他の例を示す図
 【図33】図30に示す実施の形態における効果を示す図
 【図34】周波数強調処理により得られる処理済画像信号の他の周波数特性を表す図
 【図35】エッジ部近傍のボケ画像信号の作成処理を示す図

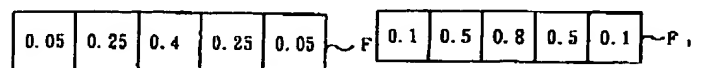
【符号の説明】

- 1 ボケ画像信号作成手段
 2 帯域制限画像信号作成手段
 3 変換手段
 4 積算手段
 6 減算手段
 7 圧縮処理手段
 10 フィルタリング処理手段
 11 補間演算処理手段
 21 減算器
 22 変換器
 23 演算器
 24 変換器
 25 乗算手段
 30 26 加算器

【図2】

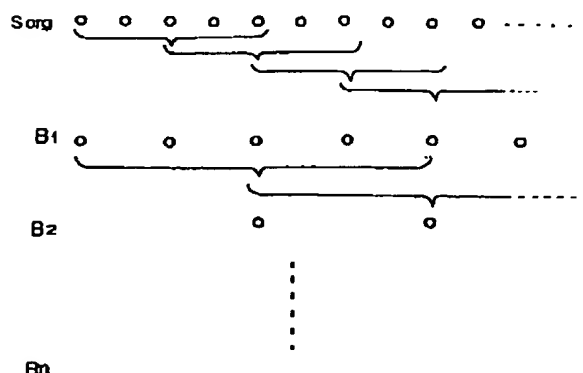


【図3】

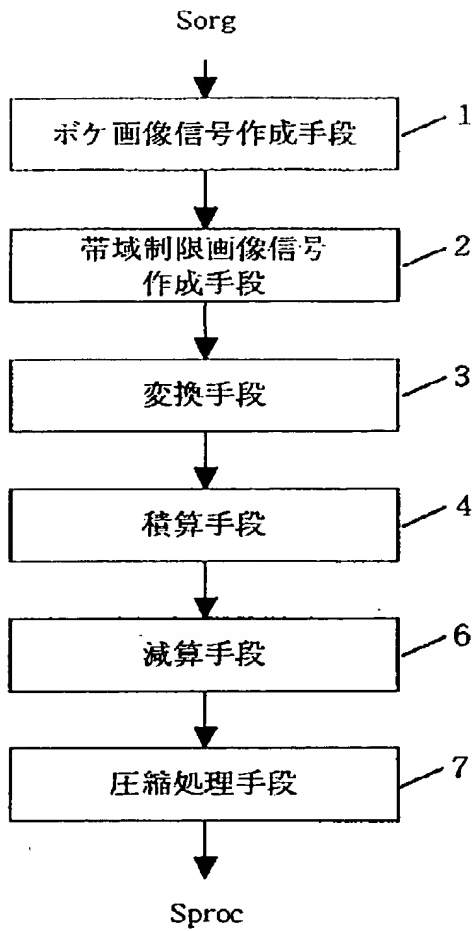


【図7】

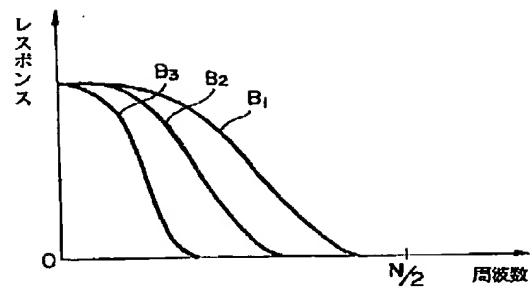
【図4】



【図1】



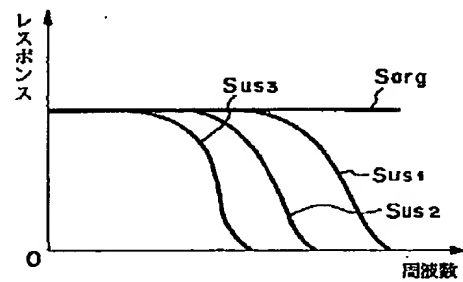
【図5】



【図10】



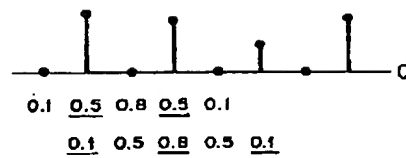
【図11】



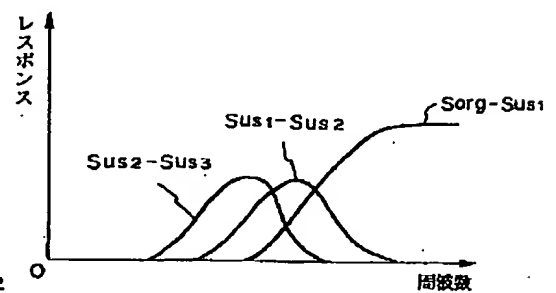
【図6】

0.0025	0.0125	0.02	0.0125	0.0025
0.0125	0.0625	0.1	0.0625	0.0125
0.02	0.1	0.16	0.1	0.02
0.0125	0.0625	0.1	0.0625	0.0125
0.0025	0.0125	0.02	0.0125	0.0025

【図8】



【図13】

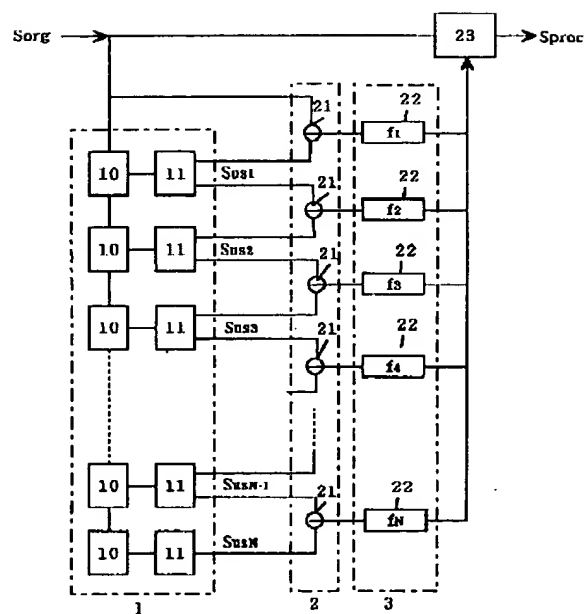


【図9】

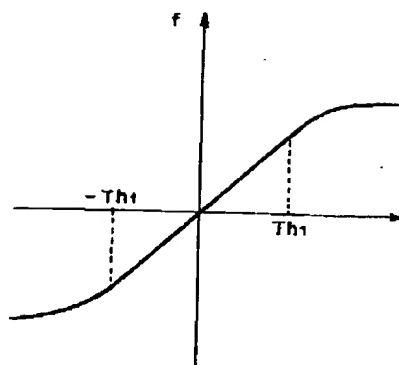
0.05	0.13	0.3	0.5	0.65	0.74	0.65	0.5	0.3	0.13	0.05
------	------	-----	-----	------	------	------	-----	-----	------	------

F_2

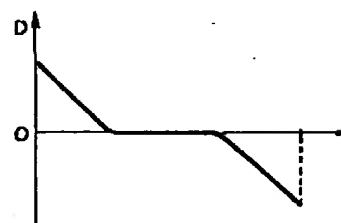
【図12】



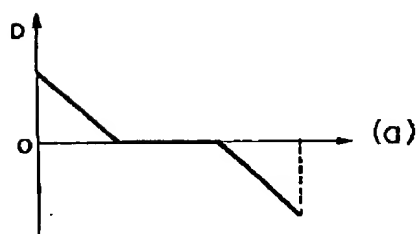
【図14】



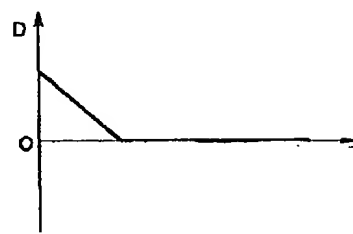
【図17】



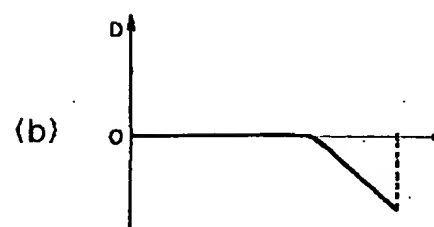
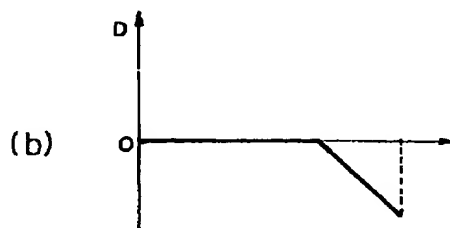
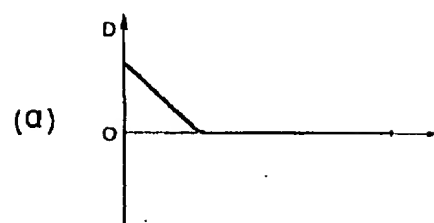
【図15】



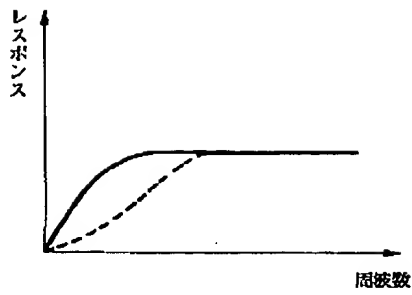
【図16】



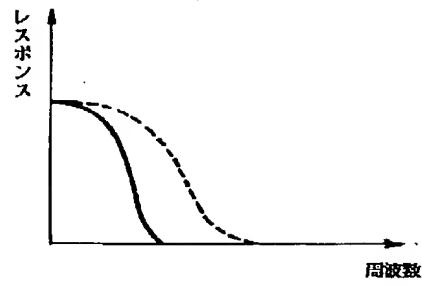
【図18】



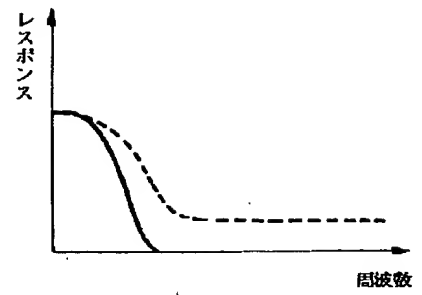
【図19】



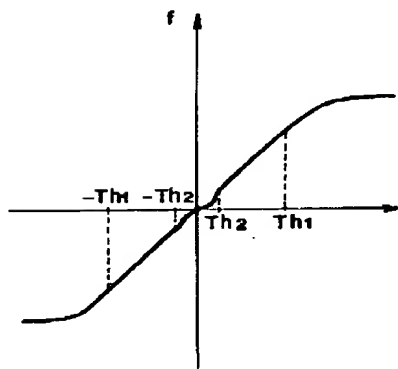
【図20】



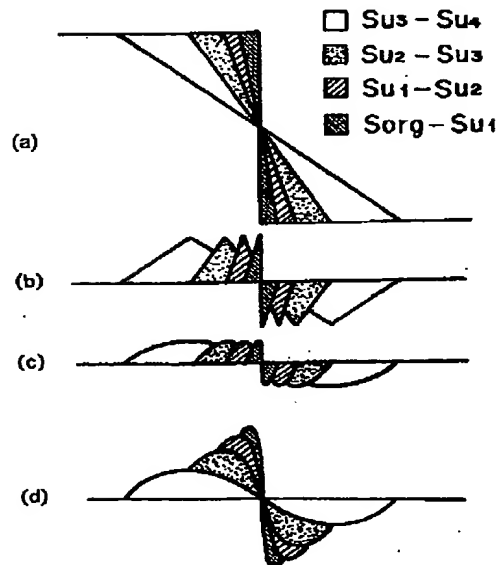
【図21】



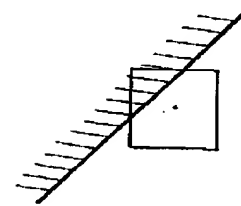
【図22】



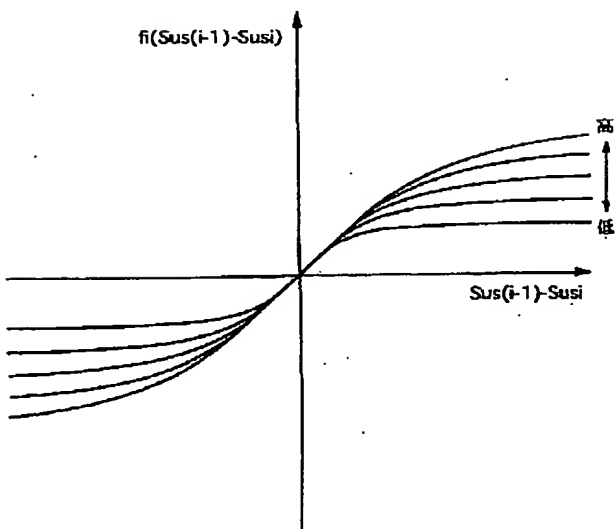
【図23】



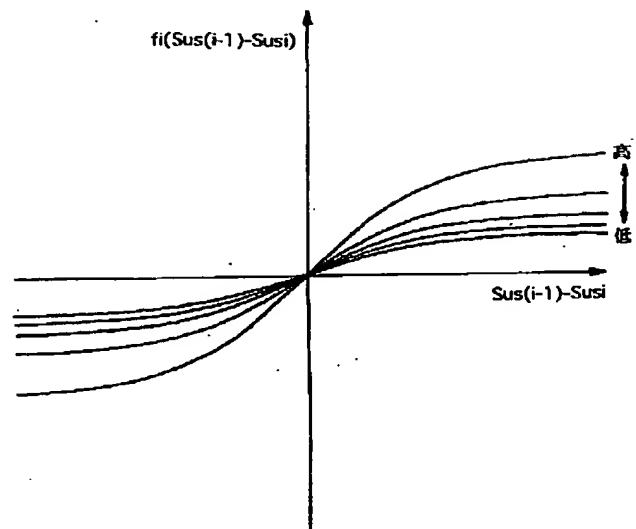
【図35】



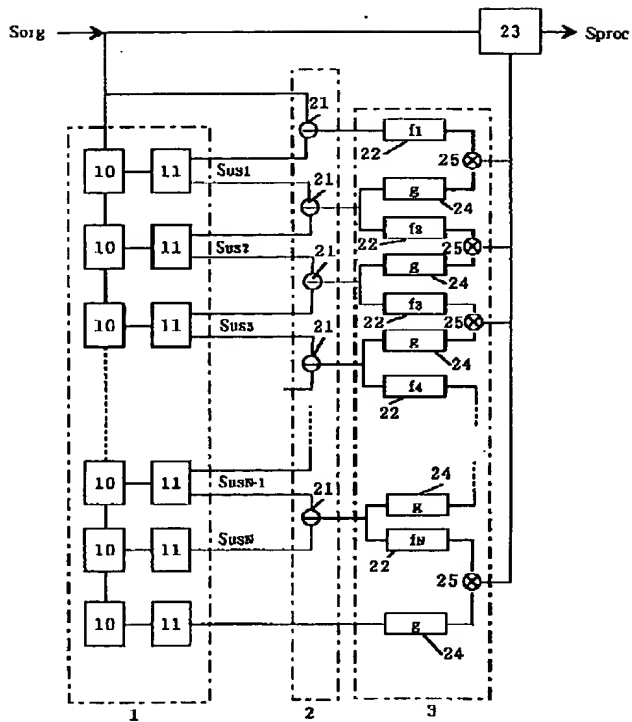
【図24】



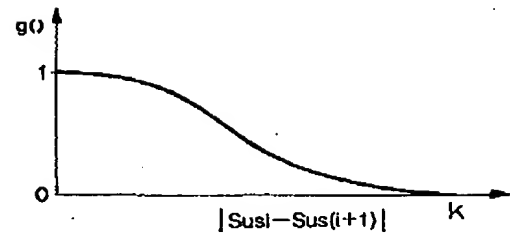
【図25】



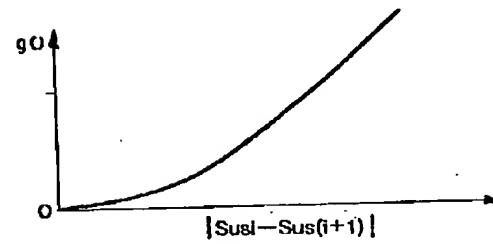
【図26】



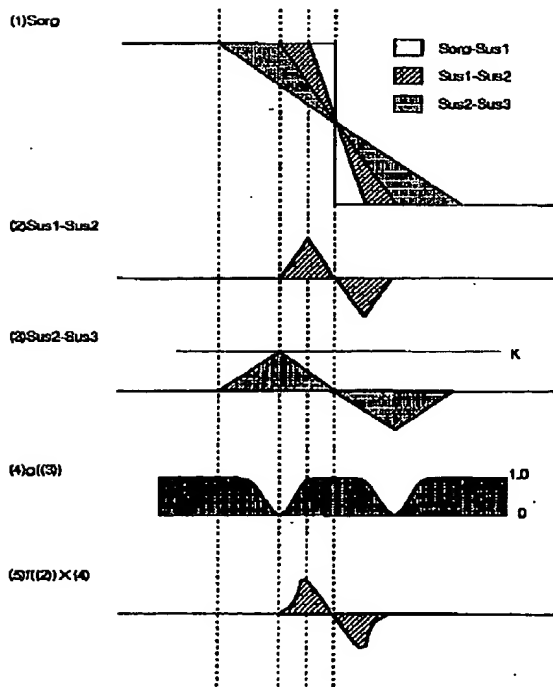
【図27】



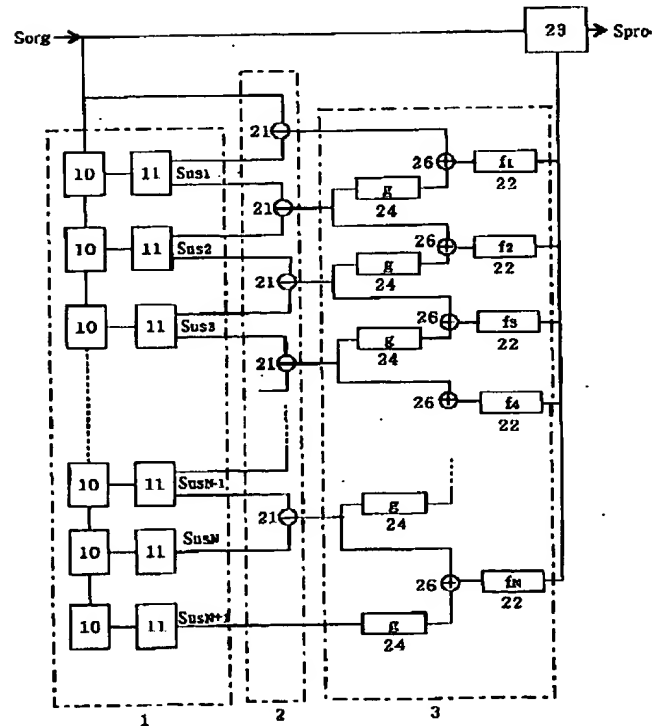
【図31】



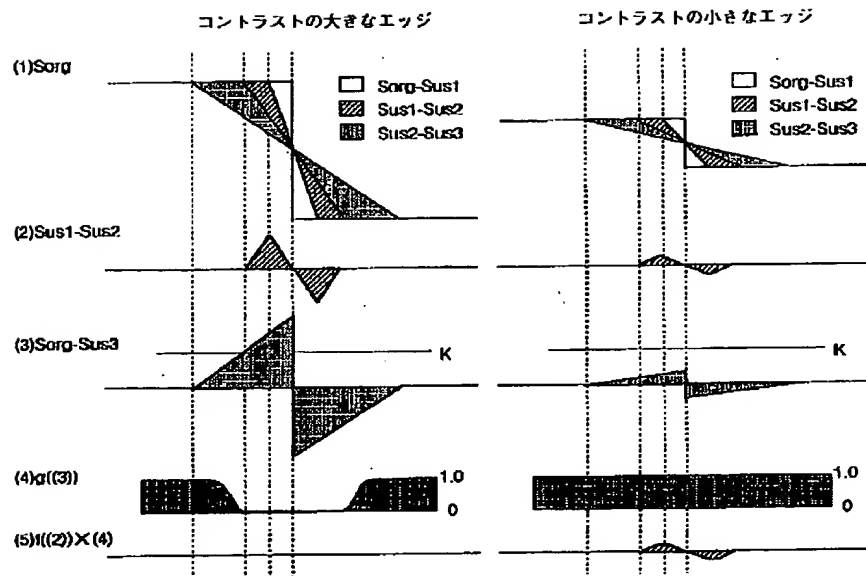
【図28】



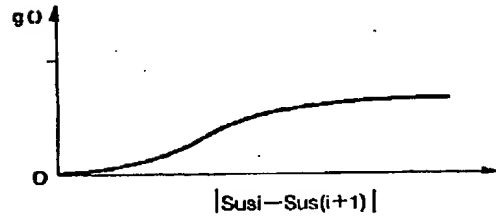
【図30】



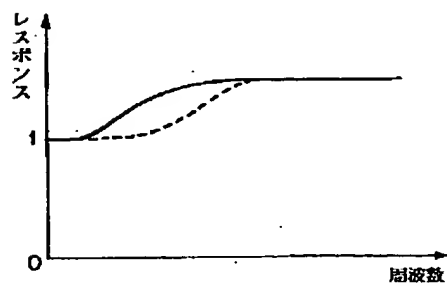
【図29】



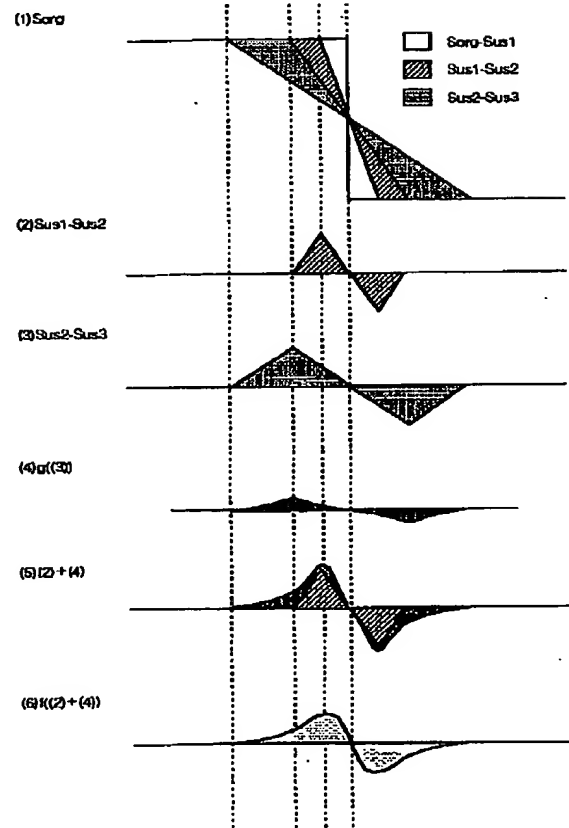
【図32】



【図34】



【図33】



フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 特願平8-169065
(32)優先日 平8(1996)6月28日
(33)優先権主張国 日本(JP)